

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA



PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL EN ELECTRICIDAD

Integración de los vehículos eléctricos en los sistemas eléctricos

AUTOR: José Miguel González Herrero

TUTOR: Fernando Soto Martos

INDICE.....	2
I. OBJETIVO.....	3
II. INTRODUCCIÓN.....	4
II.1 El coche eléctrico. Visión histórica.....	5
II.2 Arquitecturas constructivas de los vehículos eléctricos.....	8
II.2.a Vehículo híbrido.....	8
II.2.b Vehículo híbrido enchufable.....	12
II.2.c Vehículo eléctrico puro.....	15
III. EL SISTEMA ELECTRICO EN ESPAÑA.....	27
III.1 Generación de la energía eléctrica.....	27
III.2 Redes de transporte y distribución.....	30
III.3 Curva de la demanda.....	33
III.3.a Estimaciones futuras de consumo-producción.....	34
III.4 Redes inteligentes.....	38
IV. CONDICIONANTES DE LA RECARGA DEL COCHE ELECTRICO.....	42
IV.1 ¿Dónde y cómo lo recargaremos?.....	43
IV.2 ¿Durante cuánto tiempo y a que horas?.....	44
IV.3 ¿Cómo se conecta y a que coste?.....	49
V. TIPOS DE BATERIAS.....	50
V.1 Plomo-ácido.....	52
V.2 Níquel-cadmio.....	53
V.3 Níquel-metal-hidruro.....	54
V.4 Iones litio.....	55
V.5 Polímero de litio.....	59
V.6 Zebra.....	60
V.7 Zinc-aire.....	63
VI. APLICACIONES PRACTICAS EN LA ACTUALIDAD.....	66
VI.1 Proyecto MOVELE.....	66
VI.2 Proyecto REVE	70
VI.3 Proyecto Better Place.....	71
VII. CONCLUSIONES.....	73
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	75

I. OBJETIVO

Se pretende identificar, analizar y evaluar los aspectos más relevantes para la incorporación del vehículo eléctrico, con mayor incidencia en el considerado eléctrico puro, en el parque automovilístico nacional, y su posible influencia en la operación del sistema eléctrico, desde la etapa de generación, pasando por las redes de transporte y distribución, hasta los centros de consumo.

II. INTRODUCCIÓN

El proyecto fin de carrera comienza con una reseña histórica de la evolución del automóvil eléctrico desde sus orígenes hasta nuestros días.

A continuación, se presentan las diferentes arquitecturas constructivas en cuanto a motorización de los vehículos eléctricos, partiendo de los motores térmicos, pasando por los distintos grados y tipos de hibridación, hasta llegar a la total electrificación.

Posteriormente, se analiza la estructura actual del sistema eléctrico nacional, desde los valores de generación, pasando por las redes de transporte y distribución hasta los centros de consumo y su previsible evolución. Asimismo, se plantean las distintas alternativas de recarga para los vehículos eléctricos y como resolver los condicionantes que los distintos factores presentes en la recarga pueden presentar en relación al sistema eléctrico.

Después se profundiza sobre uno de los pilares básicos que condiciona la viabilidad de los vehículos eléctricos, como son las baterías, detallando los distintos tipos existentes.

Se expondrán los ejemplos prácticos que se llevan a cabo en la actualidad en algunos países como España, con los proyectos MOVELE, gestionado por el IDAE, y REVE, de cuyo desarrollo se encarga entre otros el CENER, o en Israel y Dinamarca, gestionados por Better Place.

Para finalizar, se presentan las conclusiones alcanzadas tras el estudio realizado y la bibliografía consultada para la elaboración del proyecto.

II.1 El coche eléctrico. Visión histórica

Los primeros vehículos eléctricos fabricados, tienen más antigüedad de lo que en general se piensa. El primero del que se tiene conocimiento fehaciente data de 1835 y fue diseñado por Sibrandus Stratingh y posteriormente construido por su asistente Christopher Becker en la ciudad holandesa de Groningen. Pero los primeros modelos utilitarios fueron construidos en 1842 por Thomas Davenport (1802-1851 Vermont, Estados Unidos) y Robert Davison (1804 – 1894 Edimburgo, Escocia), siendo estos de baterías no recargables, por lo que la funcionalidad de estos primeros vehículos quedó puesta en entredicho, hasta que Gaston Plante (1834-1889, Orthez, Francia) desarrolló la primera batería recargable hacia 1865, luego mejorada por su compatriota Camille Faure (1840-1898, Vizille, Francia) en 1881, momento que supuso un punto de inflexión, dado que a partir de ese momento, las baterías podían reutilizarse.



Figura 1. “La Jamais Contente”

Fuente www.speedace.info[3]

Francia y Reino Unido fueron las primeras naciones en apoyar el desarrollo de los vehículos eléctricos a finales del siglo XIX. La carrera por lograr registros notorios de prestaciones la inicia el vehículo denominado como “La Jamais Contente”, mostrado en la figura 1, que fue diseñado por Camille Jénatzy (1868-1913, Schaerbeek, Bélgica), y que en la localidad francesa de Acheres, al noroeste de Paris, fijó en 1899 el record mundial de velocidad en tierra de la época en 105.88 km/h (65.79 mph) con un aerodinámico diseño en

forma de proyectil completamente lleno de baterías.

En aquella época, aún a finales del siglo XIX, en Estados Unidos, que empezaba a prosperar como país, se hizo patente el interés por el desarrollo de los vehículos eléctricos. Por aquel entonces, los automóviles se hicieron muy populares y de las distintas opciones disponibles (eléctrico, de vapor o gasolina), la motorización eléctrica contaba con una aceptación similar a la del coche de vapor pero mucho mayor que la de gasolina por el alto precio del carburante. La primera aplicación con intereses comerciales fue mediante la creación de una flota de vehículos eléctricos para una compañía de taxis desarrollada en la ciudad de New York por la Electric Carriage and Wagon Company de Philadelphia que llegó a contar con un parque de más de 100 unidades (figura 2) y que se amplió posteriormente a otras ciudades norteamericanas con notable éxito.



Figura 2. “Taxis eléctricos en Nueva York”.

Fuente: *Electric Car Society* [6]

Con el cambio de siglo y hasta aproximadamente el año 1920, el coche eléctrico disfrutó de su época de máximo esplendor, hasta que el descubrimiento de los yacimientos petrolíferos de Texas abarataron el precio de la gasolina hecho que, entre otros, contribuyeron al desplazamiento de los vehículos eléctricos a favor de los motores de combustión, hasta su material extinción sobre 1930.



A partir de ese momento, y durante un largo periodo de tiempo, la fabricación de cualquier tipo de vehículo de tracción eléctrica quedó completamente interrumpida, hasta que hacia el año 1973, la compañía General Motors realizó el desarrollo de un coche eléctrico urbano con un cargador de baterías (figura 3), y que fue presentado en el primer Simposio de Desarrollo de Sistemas de Energía de Baja Contaminación, llevado a cabo en la Mariott Motor Inn (Octubre 1973, Ann Arbor, Michigan, EEUU). Otro ejemplo de este periodo de tiempo es el Sunyracer, que llegó a vencer en una competición destinada a vehículos propulsados por energías alternativas, pero cuyos posteriores intentos de hacer de él un coche práctico, fracasaron rotundamente.

Figura 3. “Coche eléctrico con Cargador”

Fuente: U.S. National Archives [5]

En 1990, en California, el CARB (California Air Resources Board) departamento análogo al Ministerio de Medio Ambiente, aprobó una ley sorprendente por su contenido que no dejó a nadie indiferente, puesto que era revolucionaria como pocas. Se trataba de la ley “Vehículo de emisión cero” (ZEV) [4], que imponía la obligación a las compañías fabricante de coches, a disponer entre su catálogo de modelos, de vehículos de emisiones nulas si querían seguir vendiendo en California. Inicialmente, la idea era crear un nuevo nicho de mercado, consiguiendo una penetración paulatina de éstos vehículos ecológicos, para poco a poco ir sustituyendo a los vehículos convencionales y de este modo limpiar el aire californiano. La respuesta de los fabricantes fue doble: por un lado cumplieron con la ley sacando a la venta coches eléctricos y por el otro hicieron lo posible para luchar contra ella.

Así es como nació el modelo EV1 (figura 4). Era el primer coche completamente eléctrico moderno: era rápido, limpio, mecánicamente simple, eficiente y tenía una autonomía de 130 km. De la misma iniciativa, nacieron coches como el Toyota RAV4-EV, el Ford Think, el Nissan Altra EV entre muchos otros. Estos coches del futuro se ganaron muchos admiradores y se crearon largas listas de espera para poder comprarlos. Sin embargo, la mayoría de la gente se ancló en el escepticismo dado que no creían que un coche eléctrico pudiese competir con uno de gasolina en nada. General Motors fabricó unas 1.100 unidades de este vehículo biplaza durante dos fases de 1997 a 1999 y luego una segunda hasta el 2001. Durante este periodo estos vehículos fueron arrendados a flotas y particulares de California y Arizona por un periodo inicialmente de 3 años o 30.000 millas (48.000 km). La mayor parte de estos vehículos de acuerdo

con la Ley *ZEV* recibieron una ayuda de hasta 13.000 dólares de subvención que recibía el fabricante. Se da la curiosidad de que mientras las empresas fabricaban vehículos eléctricos, a su vez pleiteaban contra la Ley *ZEV* del Estado de California. Quizás por esta razón todas ellas no facilitaban el vehículo en propiedad sino sólo en régimen de alquiler o leasing con limitaciones. El documental “Who killed the Electric Car” [8] expone una supuesta teoría de la conspiración que implicaba a fabricantes y estamentos gubernamentales para acabar con la comercialización de estos vehículos eléctricos.



Figura 4. “Modelo EV-1”

Fuente: www.greencar.com [7]

Actualmente, a mediados de 2009, el panorama que se vislumbra sobre los vehículos eléctricos es mucho más alentador. La necesidad de reducir tanto las emisiones de CO₂ como la dependencia del petróleo unido a que la concienciación social sobre la protección del medio ambiente ha crecido de igual modo que las administraciones gubernamentales se implican en promover el desarrollo sostenible en todas su facetas, hacen más atractivo y funcional el hecho de adquirir un coche eléctrico para el ciudadano medio, habida cuenta de que con las autonomías actuales de los vehículos eléctricos, son una solución limpia y viable para la mayoría de los trayectos que se efectúan en ámbito predominantemente urbano. Dado que la mayor parte de las emisiones proceden del sector transporte, considerar su electrificación supone un atractivo reto no exento de dificultades que habrán de ser afrontadas con una elevado desarrollo en innovación, acompañadas de imaginación, y por supuesto, grandes dosis de ilusión.

II.2 Arquitecturas constructivas de los vehículos eléctricos

Partiendo de los vehículos con motores térmicos convencionales, las distintas posibilidades de las que se dispone en cuanto a la electrificación de los vehículos (Figura 5), consisten en los distintos estadios de transición que llevan a pasar de los vehículos con motores tradicionales a los que van equipados únicamente con motores completamente eléctricos. Las tecnologías constructivas están siendo evolucionadas continuamente, por lo que se muestran las actuales desde un punto de vista genérico:

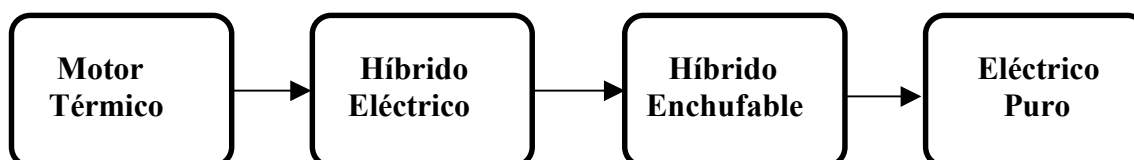


Figura 5. “Arquitecturas constructivas de motorización”

II.2.a Vehículo híbrido eléctrico (HEVs)

Un vehículo híbrido eléctrico es aquel que combina dos motores; uno eléctrico y otro térmico. Ambos pueden encargarse de traccionar el vehículo, pero cada uno entra en funcionamiento dependiendo de las circunstancias (configuración paralelo) o el térmico es usado únicamente para recargar las baterías, traccionando solo el eléctrico (configuración serie). Generalmente, es la mecánica eléctrica la que se ocupa de poner el coche en marcha, de modo que el motor térmico sólo actúa como apoyo de éste. El motor eléctrico no necesita enchufarse a la red, sino que se alimenta de baterías que se recargan mediante el motor térmico, durante las deceleraciones, o frenando y recuperando energía cinética mediante mecanismos regenerativos lo que supone una reducción considerable en el consumo de combustible y emisión de gases contaminantes.

La gran ventaja de este tipo de automóviles es que en velocidades bajas, por debajo de 30 km/h, funciona únicamente mediante el motor eléctrico, siendo el ruido mínimo y la emisión de gases nula, y al carecer del problema de la recarga eléctrica al disponer de ambos motores, se perfila como un paso previo necesario antes de dar el salto a las tecnologías enchufables.

Su conducción es convencional, y no se perciben diferencias, más que en el consumo y en la construcción interna del vehículo. Ante las actuales subidas de precio del crudo, se prevee una rápida amortización, ya que el precio de los vehículos híbridos está muy poco por encima al de los vehículos tradicionales con motor térmico.

Existen varios modelos en el mercado, destacando a Toyota y Honda como los pioneros a nivel comercial, pero día a día son más las marcas que se apuntan al carro de los híbridos. Cabe destacar que incluso los fabricantes de los vehículos radicalmente deportivos como Lamborghini, han tenido que modificar su política empresarial ante el empuje de estas nuevas tecnologías reductoras de emisiones, modificando su estrategia comercial de cara al futuro con la incorporación de motorizaciones híbridas, previstas para 2015 [18].

En este sentido, la hibridación de motores, como paso previo a la motorización completamente eléctrica, no es exclusiva de los vehículos considerados utilitarios, compactos o familiares, sino que va más allá, lanzándose al mercado variantes de corte muy deportiva. Honda, como una de las precursoras de estas tecnologías, que ya dispone de los modelos Insight y Civic IMA, añade a su catálogo el FC Sport (figura 6) y BMW prepara el lanzamiento del Vision ED (figura 7) que cuenta con un motor turbodiesel tricilíndrico, acompañado de dos motores eléctricos (uno en cada eje generando tracción total).



Figura 6. "Honda FC Sport"

Fuente: L.A. Autoshow 2008



Figura 7. "BMW Vision ED"

Fuente www.greencars.za.net

Normalmente, el motor térmico es la fuente de energía que se usa en último término. En el caso de híbridos gasolina-eléctricos, cuando el motor de combustión interna funciona, lo hace con su máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y cargan las baterías del sistema. En otras situaciones, funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía guardada en la batería.

En la mayor parte de los diseños es posible recuperar la energía cinética, que suele disiparse en forma de calor en los frenos, convirtiéndola en energía eléctrica. Este tipo de frenos se suele llamar "regenerativos", de actualidad hoy en día por la aplicación deportiva de este sistema que se realiza en la fórmula 1, donde se denomina KERS (Kinetic energy recovery system), siendo este concepto de mayor aplicación en las tecnologías eléctricas enchufables (como el Prius) o eléctricas puras. Otro sistema que actualmente cuenta con una importante presencia en la amplia mayoría de vehículos, sean de la arquitectura que sean, incluidos los de motores convencionales, consiste en un dispositivo, generalmente denominado Start-Stop, que se encarga de parar y arrancar eléctricamente el vehículo cuando se realiza una parada, sea del tipo que sea (un semáforo, bajada de ocupantes, etc) evitando que el motor gire a ralentí, reduciéndose así las emisiones de CO₂. Se denominan micro hibridaciones.

La gran ventaja de este tipo de arquitectura constructiva es que a velocidades bajas, funciona únicamente el motor eléctrico, siendo el nivel de emisión sonora casi inapreciable y las emisiones nulas, pero que permite altas autonomías por disponer también de un motor térmico. La combinación de un motor de combustión operando siempre a su máxima eficiencia, y la recuperación de energía del frenado (útil especialmente en la ciudad), hace que estos vehículos alcancen mejores rendimientos comparativamente que los vehículos convencionales.

Todos los coches eléctricos utilizan baterías cargadas por una fuente externa, lo que les ocasiona problemas de autonomía de funcionamiento sin recargarlas. Esta queja habitual se evita con los coches híbridos.

En función de la disposición de los motores, las configuraciones de los vehículos híbridos pueden ser de dos tipos:

- **paralelo:** tanto el motor térmico como el eléctrico pueden actuar sobre la transmisión del coche, haciendo girar las ruedas (Figura 8). Esta configuración cuenta con un depósito de combustible que alimenta el motor térmico que es de un tamaño menor al de un vehículo convencional, pero mas eficiente, y con un conjunto de baterías que suministra la energía al motor eléctrico.

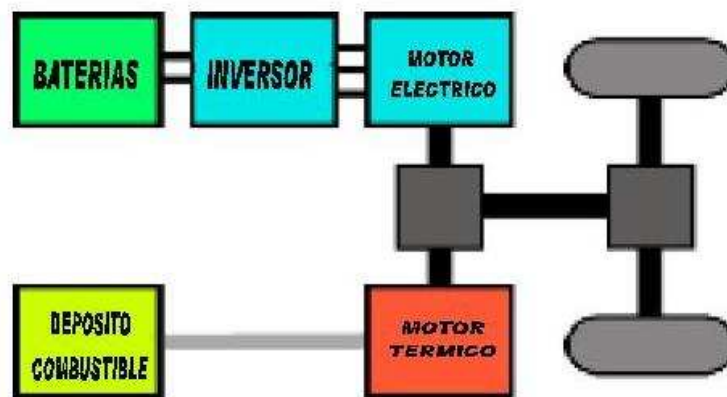


Figura 8. “Esquema configuración paralelo”

Para almacenar la energía eléctrica, son necesarias unas baterías de una capacidad nominal superior a las normales de 12 voltios.

Accesorios como la dirección asistida o el aire acondicionado, se alimentan directamente del motor eléctrico en lugar de hacerlo del motor de explosión. Con esto se aumenta su eficiencia ya que trabajan a un nivel constante independientemente de la velocidad a la que se circule.

Un aspecto importante a considerar, es el acoplamiento mecánico de ambos sistemas. Si lo hacen a través de unos ejes realmente paralelos, la velocidad de giro de ambos debe estar sincronizada, precisándose de un mecanismo de embrague que permita el acoplamiento o desacoplamiento según sea el caso. Entre los vehículos híbridos eléctricos mas populares actualmente, se encuentran el Toyota Prius (Figura 9) o el Honda Insight. Las características más importantes a nivel constructivo del modelo Prius (Tabla 1) son las siguientes:



Figura 9. "Toyota Prius"

Fuente: www.motorpasion.com

Motor de combustión	Motor eléctrico
4 cilindros en línea 16 válvulas	síncrono de imán permanente
Cilindrada 1.497 cm ³	Tensión nominal: 500 V
Potencia máxima: 77 CV (57,20 kW) a 5.000 rpm	Potencia máxima: 68 CV (50 kW) a 1.200-1.540 rpm
Par motor máximo: 115 Nm a 4.000 rpm	Par motor máximo: 400 Nm a 0-1.200 rpm
Combustible: gasolina de 95 octanos	Peso: 104 kg

Tabla 1. "Datos técnicos del Toyota Prius"

Fuente: Toyota

Las baterías del Toyota Prius constan de 28 módulos, con una velocidad de descarga de 6,5 Amperios/hora y una tensión nominal de 201,6 voltios, fabricadas en níquel e hidruro metálico. Otros datos relevantes son su bajo coeficiente aerodinámico (C_x : 0,26) y evidentemente, sus bajos consumos de combustible, del orden de los 4,5 litros/100 km en conducción combinada y unas emisiones de CO₂ en el entorno de los 100 g/km .

- **serie:** el motor térmico se emplea únicamente para generar electricidad y la tracción la proporciona sólo el motor eléctrico (Figura 10)

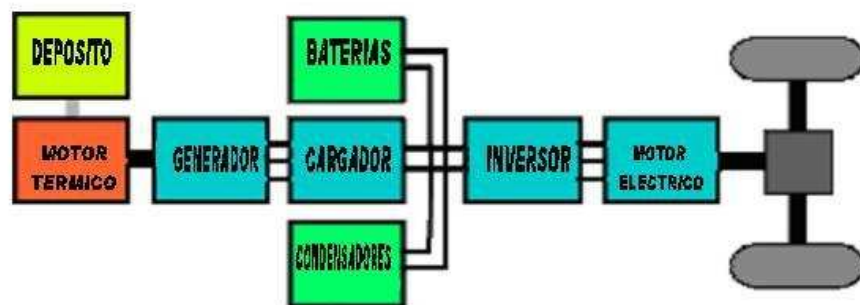


Figura 10. "Esquema configuración serie"

En este caso, como no existe conexión mecánica entre el motor térmico y la transmisión del vehículo, este puede funcionar a una velocidad constante con independencia de la velocidad a la que se circule con lo que el rendimiento de este se acerca bastante a su límite teórico (por diseño en torno al 37%).

La energía que produce el motor térmico debe circular, al menos, a través del generador y del motor eléctrico. Incluso, dependiendo del modelo constructivo, a través del cargador o incluso de las baterías, lo que hace que cada paso motive una pérdida de energía y eficiencia. En conducción de larga distancia, la mayor parte de la energía será suministrada por el motor térmico, por lo que la eficiencia de los modelos serie respecto a los paralelos se reduce un 25%.

El uso de un motor para cada rueda, reduce el problema de la pérdida de eficiencia propia de los motores térmicos, eliminándose además los elementos mecánicos como diferenciales y transmisiones. Este tipo de configuraciones es típica de vehículos militares, locomotoras y vehículos industriales como autobuses en los que esta configuración facilita la disposición de piso bajo, al eliminarse los voluminosos túneles motor que están presentes en las configuraciones típicas de motor delantero o trasero, y barras de transmisión longitudinales y transversales con ejes diferenciales para los vehículos de tracción total.

II.2.b Vehículo híbrido eléctrico enchufable (PHEVs)

Constructivamente, son similares a los híbridos no recargables, pero además se pueden recargar mediante la conexión a la red. Un ejemplo de este tipo de vehículos, lo representa el modelo Toyota Plug-in HV (Figura 11) que empezará a comercializarse en Europa, Asia y Estados Unidos a partir de 2010.



Figura 11. "Toyota Plug-in HV"

Fuente: www.Greencars.org [7]

La amplia mayoría de esta nueva generación de vehículos híbridos eléctricos utilizan como núcleo del sistema eléctrico las baterías de litio, de extendida aplicación para teléfonos móviles y ordenadores portátiles.

Este tipo de vehículos, dada la carestía actual de puntos de recarga y legislación al respecto, se postula como paso intermedio ineludible entre los vehículos híbrido y los eléctricos puros. En teoría reúnen las ventajas tanto de los híbridos como de los vehículos totalmente eléctricos, y pueden facilitar la transición hacia la electrificación del transporte por carretera. Hay dos tipos de híbridos enchufables: en un caso, el motor térmico sustituye al eléctrico cuando está descargada la batería (configuración paralelo), y en otro sólo generan más electricidad para el motor eléctrico (configuración serie), aumentando su autonomía (Figura 12).

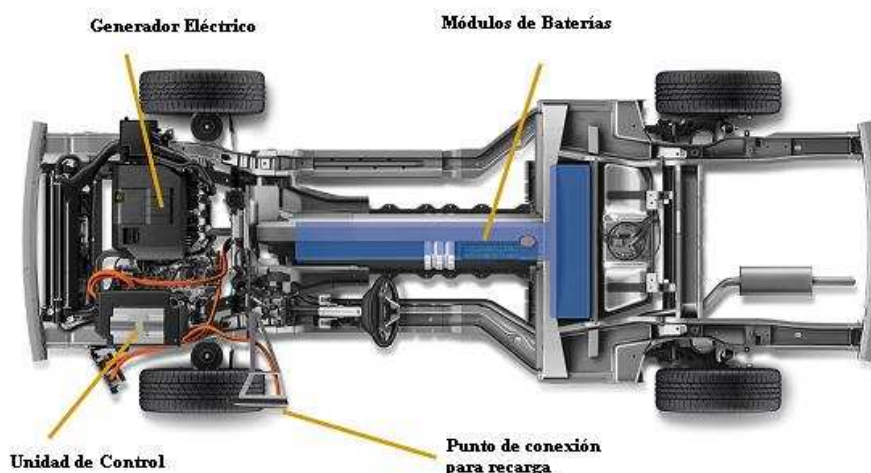


Figura 12. “Vista en planta PHEV serie”

Fuente: www.going-electric.com [11]

El motor eléctrico sirve para los pequeños desplazamientos diarios, la inmensa mayoría, con cero emisiones a nivel local y el motor convencional permite aumentar la autonomía entre recargas hasta los 450 kilómetros o más. A lo largo del año la inmensa mayoría de los kilómetros recorridos se haría utilizando el motor eléctrico con electricidad proveniente de la red; la recarga se haría preferentemente durante la noche, en principio utilizando las tarifas nocturnas, y en cualquier caso, y de cara a que la reducción de emisiones fuera más efectiva, se debería intentar que la energía procediera de centrales de régimen especial, con especial incidencia, dado el alto potencial de generación del que se dispone en el sistema peninsular, de los parques eólicos.

En el caso del Chevrolet Volt de General Motors, la autonomía con el motor eléctrico es de unos 64 kilómetros, que es suficiente para realizar el recorrido medio de la mayor parte de los desplazamientos diarios. Para recorridos largos un pequeño motor de gasolina recarga la batería. Según las estimaciones que ha realizado General Motors [31], se calcula que conducir el Volt con la energía de la batería costará alrededor de dos céntimos de euro por kilómetro, comparados con los ocho céntimos por kilómetro de un vehículo convencional que utilice gasolina y de similares prestaciones. Para un conductor medio que realiza 60 kilómetros al día o 22.000 km al año, se obtendría un ahorro de 2.200 euros al año, que compensaría el sobre coste inicial de la batería.

Según un estudio realizado dentro del marco del proyecto REVE [28], el automóvil medio vendido en Europa en 2006 consumía 6,5 litros por cada 100 kilómetros. Un híbrido conectado a la red, que haga la mitad de los kilómetros con electricidad de la red y el resto con combustible o generada con éste, consumiría 2,5 litros por cada 100 kilómetros. Dado que la mayoría de los recorridos diarios son inferiores a 60 km, tal cifra podría incluso mejorarse; el híbrido se recargaría mientras el coche está aparcado (la mayor parte del tiempo) y sería necesario repostar gasolina o gasóleo en pocas ocasiones, tan sólo en largos trayectos de vacaciones o viajes largos, pero no en la inmensa mayoría, que son desplazamientos cortos al trabajo, al centro comercial, por ocio o para llevar los niños al colegio o la guardería.



En esta línea, se orienta el Opel Ampera (figura 13), cuyo lanzamiento se prevé para finales de 2011, con una autonomía superior a 500 kilómetros [19], cuenta con un motor de gasolina que en ningún caso impulsa al vehículo, sino que únicamente recargaría las baterías en caso de no poder conectarse a la red.

Figura 13. "Opel Ampera"

Fuente: Autobloggreen

Las ventajas y las desventajas de los son similares a los de los vehículos eléctricos. En el haber, mayor autonomía que los vehículos eléctricos impulsados sólo por batería, la mayor eficiencia, la reducción de emisiones por el uso del motor eléctrico y el menor coste del kilómetro recorrido. En el debe, las baterías de litio presentan un problema de calentamiento excesivo y alto riesgo de explosión en caso de accidente que deberá resolverse. Otras tecnologías constructivas de las baterías en desarrollo, como son las basadas en NaCl o en zinc se posicionan como alternativas más fiables.

En cuanto a la reducción el balance total de las emisiones dependerá del origen del mix de la electricidad consumida, y será más favorable cuanto mayor sea el porcentaje procedente de la eólica y otras renovables, pero en todos los casos las emisiones son inferiores a los de los vehículos tradicionales, incluso cuando la electricidad procede de centrales de carbón (unos 960 gramos de CO₂ por kWh) o de ciclo combinado de gas natural (unos 350 gramos de CO₂ por kWh).

II.2.c Eléctrico puro (EVs)

Dos son las opciones principales sobre las que se sustentan los proyectos que se desarrollan en la actualidad. Por un lado, la recarga de las baterías con puntos de recarga repartidos por las ciudades, generalmente en aparcamientos bien públicos (figura 14) o privados como postula el Proyecto Movele en España y por otro lado el enfoque del cambio de baterías en estaciones de recarga, como desarrolla Better Place (Figura 15), en países como Israel o Dinamarca, cuyas reducidas dimensiones geográficas, con las principales ciudades muy próximas entre si, facilitan la implantación de este sistema.



Figura 14. "Poste de recarga público en Londres"

Fuente: www.ison21.es



Figura 15. "Estación de cambio de baterías"

Fuente: www.green.autoblog.com [49]

El enfoque actual del desarrollo, basado en una mayor sostenibilidad, implica fundamentalmente un importante cambio social. En este contexto, el coche eléctrico es el siguiente paso lógico dentro de esa nueva cultura de concienciación medioambiental que se impone día tras día.

En este punto, los esfuerzos de algunos fabricantes van encaminados a conseguir mayores autonomías de los vehículos, que se presenta como el talón de Aquiles de las tecnologías actuales, así como a solucionar el otro caballo de batalla que supone la recarga de los vehículos. Saber dónde, cuándo, cómo y durante cuánto tiempo se llevarán a cabo dichas recargas centra el otro foco de atención para la viabilidad de los vehículos eléctricos. El coche eléctrico, con sus ventajas e inconvenientes, puede convertirse en la tabla de salvación a través de la cual las empresas del sector automovilístico podrán asegurarse su continuidad en el futuro. Gracias a los avances en las baterías, el coche eléctrico se ha impuesto como prioridad frente a otras alternativas limpias como la pila de hidrógeno. El desarrollo de las baterías para estos vehículos constituye la piedra angular sobre la que se apoya su funcionalidad y su futuro.



Figura 16. "Think City"

Fuente: www.think.no

La nueva generación de vehículos, como el Think City! (Figura 16) saldrá a la calle a partir del primer trimestre de 2010, sin que por ahora esté resuelto el principal desafío para su utilización en masa: que exista una infraestructura para recargarlos en la red, o bien un sistema de sustitución rápida de baterías

Dada la limitación que supone la autonomía de las baterías, y en tanto en cuanto no se disponga de una red a nivel nacional de estaciones de recarga rápida al margen de sitio de recarga en el propio domicilio o en los lugares de trabajo, la mayor utilidad de los vehículos eléctricos sería para realizar trayectos relativamente cortos, por lo que su uso sería fundamentalmente urbano. Dado que su nivel de emisiones contaminantes a nivel local, por no hablar de las sonoras, es nulo, se postulan como una alternativa muy atractiva para las habitualmente congestionadas zonas urbanas de alta densidad de tráfico, donde la calidad del aire puede llegar a entrañar problemas de salud.

El motor eléctrico es cuatro veces más eficiente que el motor de combustión interna [46] La tecnología existe, y la única cuestión que queda por desarrollar son las baterías que proporcionen una autonomía adecuada entre recargas a un coste razonable. De hecho, la práctica totalidad de las empresas del sector, como Renault, Nissan o Chevrolet, ya están desarrollando sus modelos, y cabe esperar que a partir de 2010-2012 el automóvil eléctrico irrumpa de forma masiva en todos los mercados.

Al tener menos partes mecánicas, ya que al eliminarse el motor de combustión, los vehículos puramente eléctricos prescinden del embrague, caja de cambios, catalizador, sistema completo de escape, incluidos colectores entre otros, se espera que los costes de mantenimiento sean inferiores, dependiendo fundamentalmente del desarrollo de las baterías. El coste del kilómetro recorrido por un vehículo eléctrico, por primera vez en la historia, es igual o inferior al de ese mismo kilómetro en un automóvil convencional de gasolina o gasóleo, lo que sienta las bases para iniciar un proceso de electrificación del transporte por carretera, proceso que va a ser largo y no exento de dificultades, y va a requerir imaginación, voluntad y constancia para plasmarlo, pero sin duda merece la pena, porque es una opción altamente rentable desde todos los puntos de vista.

Los vehículos eléctricos pueden tener sólo un gran motor eléctrico conectado a la transmisión, o varios pequeños motores en cada una de las ruedas. Los vehículos eléctricos con sólo un motor se adaptan mejor al diseño tradicional y permiten un motor más potente, pero presentan algunas pérdidas de eficiencia a través de la fricción. Los vehículos eléctricos con motores independientes en cada rueda (Michelin ya ha presentado sus prototipos) evitan muchas de las pérdidas de transmisión frente a un único motor, pero en la actualidad son más apropiados para pequeños vehículos, debido a la necesidad de mayor potencia de los vehículos grandes.

Se precisa de un cambio en la mentalidad de los usuarios de vehículos particulares y que el desarrollo tecnológico de las baterías ayude a derribar ciertas barreras psicológicas que se superarán cuando la percepción del límite de 200 kilómetros de autonomía, o menos, de los vehículos eléctricos se vea contrarrestada por la ubicuidad de puntos de recarga en calles y garajes, por recargas, cuando lo permita la eficiencia del sistema eléctrico, que se cuentan en minutos y no en horas, de modo análogo a como se tarifican los servicios de aparcamiento o telefonía en la actualidad, y por estaciones de servicio donde se cambia la batería descargada por otra recargada en el mismo tiempo en que hoy se realizan los repostajes.

Uno de los principales objetivos para implantar el coche eléctrico, entre otros, es eliminar una de las grandes barreras a la generalización de los vehículos eléctricos: el coste de las baterías. En este enfoque se orienta el Proyecto Better Place. Para ello se alquila o se cobra una cuota mensual por la batería o incluso por el vehículo, pero el propietario del vehículo lo compra sin la batería, por lo que el coste inicial es muy reducido, y el coste de la batería se reparte a lo largo de su periodo de vida. Como el precio de la electricidad es mínimo, comparado con el de la gasolina o gasóleo, el coste por kilómetro recorrido es similar o incluso inferior. Se vende un servicio, y no el vehículo, utilizando formas innovadoras de financiación ya aplicadas por las empresas de otros sectores. A cambio de una cuota mensual fija y conocida, se proporciona la batería o todo el vehículo, además de la electricidad y toda la infraestructura de recarga y cambio de baterías, mantenimiento y atención al cliente. Al final se acabará pagando en cómodas cuotas mensuales una cifra similar o inferior a la que hoy gasta en los vehículos de gasolina o gasóleo, sin los sobresaltos de las subidas de precios de los combustibles.

Para establecer una comparativa en cuanto a precios de adquisición y costes del combustible, usaremos como referencias un vehículo tradicional con motor térmico como el Seat Ibiza 1.4 16 válvulas con motor de gasolina (figura 17) y el Think City (figura 18) como referencia de vehículo eléctrico.



Potencia: 85 CV (63 kW)

Inyección multipunto

Combustible: Gasolina 95

Consumo ponderado: 6,5 l/100

Emisiones: 154 g/km

PVP recomendado: 12.600 €

Figura 17. "Seat Ibiza 1.4 3p"

Fuente: SEAT [58]



Baterías: Zebra 28,3 kwh Na

Motor trifásico asíncrono 30 kW

Autonomía media: 170 km

100 % recarga en 13 horas para
230 VAC/14 A

PVP estimado: 22.500 €

Figura 18. "Think City"

Fuente: Think! [59]

Alquiler batería estimado: 85
€/mes

Los datos sobre los que realizamos la comparativa se muestran en la tabla 2:

Tiempo de uso	10 años
Kilómetros anuales recorridos	5.000-10.000-15.000-20.000-25.000
Precio litro gasolina 95	1,05 €
Consumo ponderado	6,5 litros/100km
Precio kWh	0,11248 €

Tabla 2. "Datos de cálculo para la comparativa entre Seat Ibiza y Think City"

El precio del litro de gasolina 95, es el valor medio ponderado nacional, que se toma del informe sobre precios de hidrocarburos del Ministerio de Industria en julio de 2009.

El precio del kWh, es el fijado como referencia para el mercado libre mediante orden ministerial publicado en el BOE de fecha 31 de diciembre de 2008.

Como hipótesis de cálculo, se mantienen fijos los valores tanto de la gasolina como de la electricidad durante todo el intervalo.

Las fórmulas que se emplean para el cálculo del coste de uso del vehículo de gasolina son las siguientes:

$$C_t = D \cdot C_m \quad (1)$$

$$C_c = C_t \cdot P_c \quad (2)$$

Donde el significado de cada variable es el siguiente

C_t Consumo total de combustible anual, en litros (l)

D Distancia recorrida anualmente, en kilómetros (km)

C_m Consumo medio ponderado, en litros/100 kilómetros (l/100km)

C_c Coste total de combustible consumido anualmente, en euros (€)

P_c Precio del litro de combustible, en euros (€/l)

Para los parámetros fijados en la tabla 2, los resultados que se obtienen se muestran en la tabla 3:

D (km)	C_t (litros)	C_c (€)
5.000	325	341,25
10.000	650	682,5
15.000	975	1023,75
20.000	1.300	1.365
25.000	1.625	1.706,25

Tabla 3. "Resultados del Seat Ibiza"

Para el cálculo del coste de utilización de un vehículo puramente eléctrico, se ha tomado el valor fijado por el BOE de 31-12-2008. Actualmente, tras la liberalización del sector eléctrico, las tarifas se rigen por la TUR (Tarifa de Último Recurso, para consumidores hasta 10 kW) a partir del 1 de julio de 2009, por las que las compañías comercializadoras autorizadas pueden fijar un precio distinto unas de otras, siempre por debajo del límite marcado por el Gobierno.

Tomando el valor mencionado, y añadiéndole la parte proporcional de los costes fijos del servicio más impuestos, estimamos el valor en 0,15 €/kWh. Los parámetros de cálculo se muestran en la tabla 4:

Precio kWh	0,15 €
Autonomía vehículo	170 km
Capacidad batería	28,3 kWh

Tabla 4. “Datos de cálculo para el Think City”

Las fórmulas de cálculo para el vehículo eléctrico, considerando los parámetros mostrados en la tabla 4, son las siguientes:

$$Et = D \cdot Cb \quad (3)$$

$$Cb = (Cbat / A) \cdot 100 \quad (4)$$

$$Ce = Et \cdot Pe \quad (5)$$

Donde el significado de cada variable es el siguiente:

Et Consumo eléctrico anual, en kilowatios hora (kWh)

D Distancia recorrida en un año, en kilómetros (km)

Cb Consumo eléctrico de la batería cada 100 kilómetros, en kWh/km

Cbat Energía acumulada en la batería, en kilowatios hora (kWh)

Ce Coste de la energía consumida, en euros (€)

Pe Precio de la energía, en euros/kilowatios hora (€/kWh)

A Autonomía en kilómetros, (km)

Para el vehículo objeto de análisis, el coeficiente Cb tiene un valor de 16,647 kWh/100 km. En la tabla 5, según este valor y los reflejados en la tabla 4, se obtienen los siguientes datos:

D (km)	Et (kWh)	Ce (€)
5.000	832,35	124,85
10.000	1.664,70	249,70
15.000	2.497,05	374,55
20.000	3.329,4	499,41
25.000	4.161,75	624,26

Tabla 5. “Resultados del Think City”

En la tabla 6, se muestra la comparativa del precio del combustible gastado en cada una de las opciones planteadas:

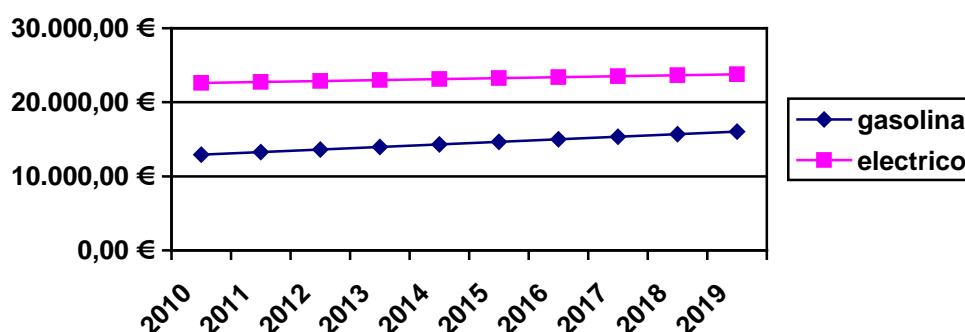
Distancia anual recorrida (km)	Coste gasolina vehículo térmico (€)	Coste electricidad vehículo eléctrico (€)	Diferencia entre costes (€)
5.000	341	124	216
10.000	682	249	432
15.000	1.023	374	649
20.000	1.365	499	865
25.000	1.706	624	1.081

Tabla 6. “Comparación de costes gasolina-electricidad según kilometrajes”

Nota: Para ambos casos, se supone que el precio del combustible se mantiene fijo. El coste del alquiler de la batería del vehículo eléctrico, se compensa con el de los mantenimientos mecánicos del vehículo de combustión (cambios de aceite, correas, bujías, inyección, etc)

Tomando una vida útil de los vehículos de 10 años y para los kilometrajes del intervalo seleccionado y con los precios de compra mencionados se refleja en las gráficas de la 1 a la 5 como quedaría la evolución del coste de uso de ambos vehículos:

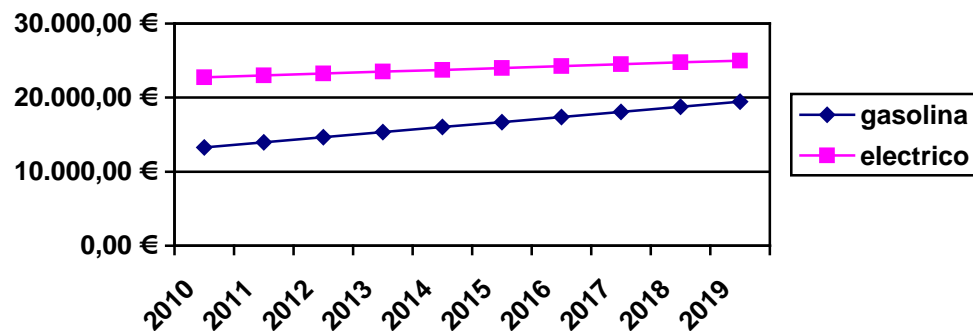
Evolución del coste para 5.000 km anuales



Gráfica 1. “Comparativa de costes 10 años vista para 5.000 km anuales”

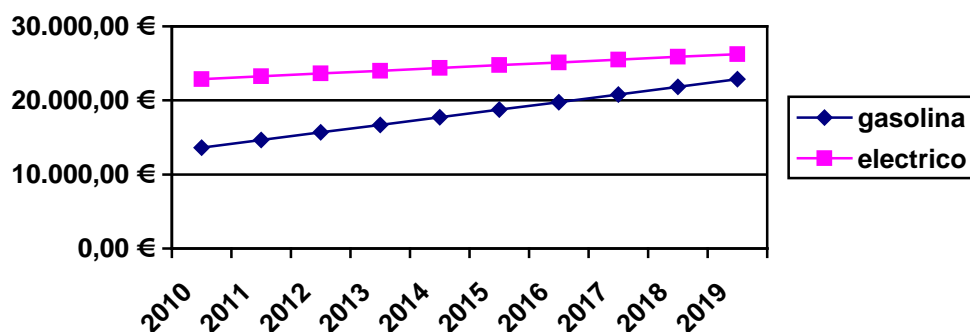
Para un uso tan reducido del vehículo, no resulta económicamente interesante al no verse compensado los costes de adquisición del vehículo eléctrico con el menor precio de la electricidad consumida frente al vehículo de motor térmico.

Evolución del coste para 10.000 km anuales



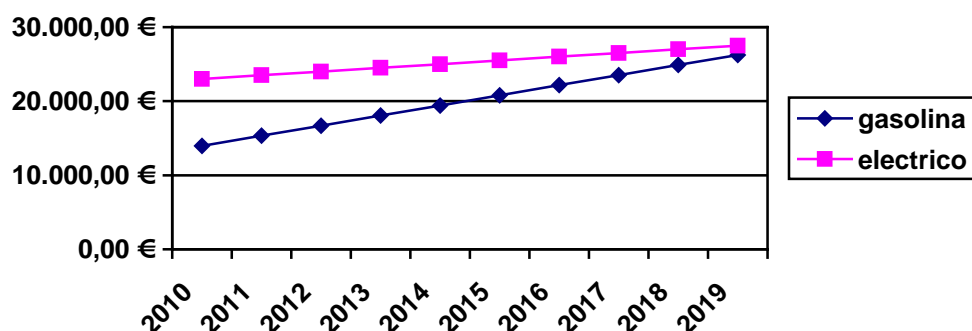
Gráfica 2. . “Comparativa de costes 10 años vista para 10.000 km anuales”

Evolución del coste para 15.000 km anuales



Gráfica 3. . “Comparativa de costes 10 años vista para 15.000 km anuales”

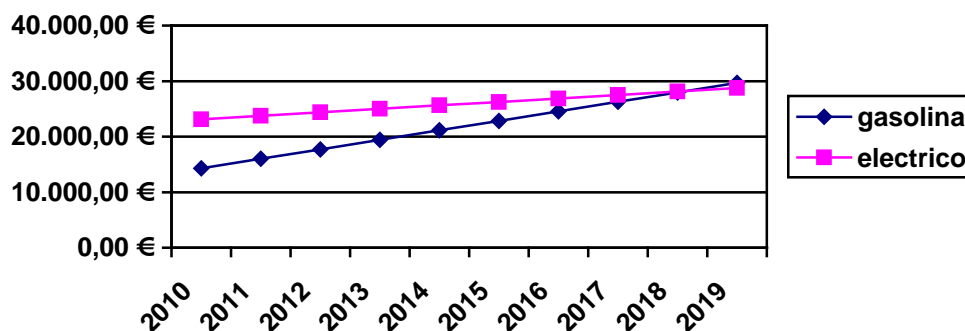
Evolución del coste para 20.000 km anuales



Gráfica 4. . “Comparativa de costes 10 años vista para 20.000 km anuales”

La tendencia que se muestra en las gráficas 2, 3 y 4 refleja que a medida que se va aumentando la utilización de los vehículos, en términos de kilómetros recorridos, se observa que el diferencial entre el vehículo eléctrico y el de motor térmico, se va reduciendo gradualmente, hasta llegar a un punto de cruce en el que desde el punto de vista económico, la adquisición de un vehículo eléctrico sería más interesante frente a uno con motor térmico.

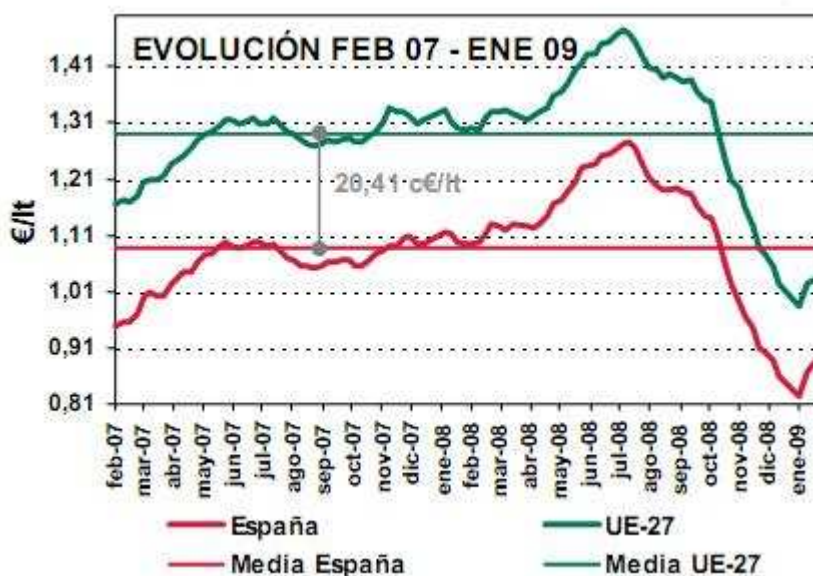
Evolución del coste para 25000 km anuales



Gráfica 5. "Comparativa de costes 10 años vista para 25.000 km anuales"

Para los parámetros fijados en el cálculo y los vehículos considerados, se obtiene que únicamente a partir de 25.000 km anuales, el coste total de adquisición y combustible a horizonte 10 años, es inferior al de utilización del vehículo de gasolina. En el resto de supuestos, el vehículo eléctrico aparece como más caro. En cualquier caso, al cabo de esos 10 años, el ahorro que si se produce es el de la emisión de entre 7,7 y 38,5 toneladas de CO₂ (según kilometraje) a la atmósfera de un único vehículo de gasolina sustituido (Valores obtenidos de las emisiones locales de 154 g/km del Seat Ibiza).

No obstante, habida cuenta de que el precio de la gasolina ha llegado a alcanzar el valor máximo de 1,28 €/litro en julio de 2008 (gráfica 6), los periodos de amortización de los vehículos eléctricos con respecto a los de gasolina puede reducirse drásticamente.

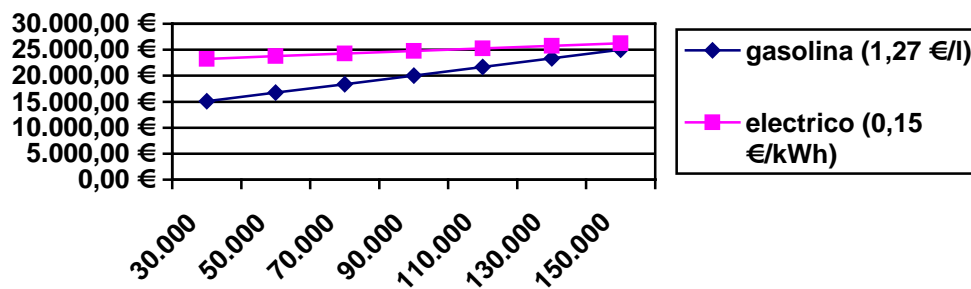


Gráfica 6. "Evolución precio gasolina 95 octanos España-UE27"

Fuente: CNE [60]

Tomando en cuenta este valor máximo del precio de la gasolina, planteamos la misma hipótesis de cálculo utilizada para el Think City y el Seat Ibiza anteriormente, mostrando la evolución de los costes de utilización y adquisición en función del kilometraje efectuado (gráfica 7):

Comparativa de coste utilización por kilómetros recorridos



Gráfica 7. "Evolución de costes para precio máximo de gasolina 95 octanos"

Con el precio máximo registrado en España de la gasolina, tendríamos que con algo más de 150.000 km, la utilización del vehículo eléctrico sería mas rentable en términos de costes que la del vehículo tradicional.

El coche medio europeo cuesta 20.000 euros y en sus 10 años de vida, realizando 20.000 kilómetros anuales, con un promedio de 7 litros/100 km, consumirá unos 14.000 litros de combustible, que costarán de 15.000 a 16.000 euros, dependiendo del país, y con tendencia creciente. El combustible cuesta casi lo mismo que el vehículo. Por comparación, el coche eléctrico cuesta 25.000 euros, y la electricidad consumida en esos 10 años, suponiendo un promedio de 17 kWh/100 km, y un precio de 0,15 €/kWh, será de 5.000 euros. Esto es, la quinta parte del precio del vehículo. [62] Pero el coste de las baterías y la electricidad de origen eólico o de otras energías renovables tienden a reducirse a lo largo de los años, mientras que la tendencia de los hidrocarburos es a subir, independientemente de bajadas circunstanciales, como la provocada por la crisis económica actual.

El menor coste variable compensa el mayor precio fijo de la batería, y de hecho se han propuesto nuevas fórmulas comerciales, como vender el automóvil sin la batería, y cobrar por los kilómetros recorridos, utilizando fórmulas de leasing o renting.

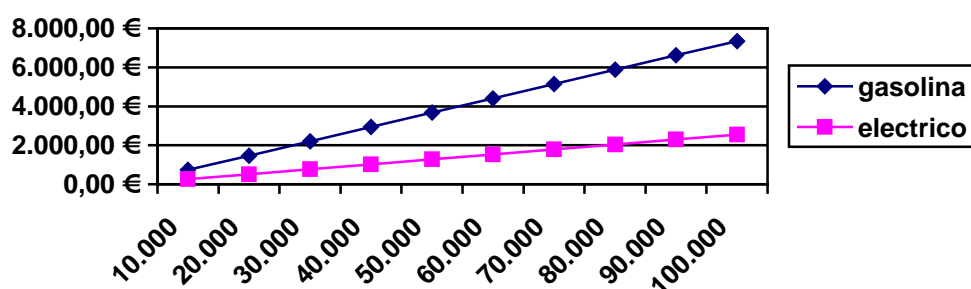
En la gráfica 8, se muestra la evolución del coste del carburante de ambos tipos de vehículos, suponiendo que el coste de adquisición de los vehículos sea el mismo, en función de los kilómetros recorridos. Datos de cálculo en las tablas 7 y 8.

Vehículo	Consumo	Precio combustible	Distancia (km)	Coste electricidad (€)	Coste gasolina (€)
Eléctrico	17 kWh/100 km	0,15 €/kWh	10.000	255	735
Gasolina	7 litros/100 km	1,05 €/litro	20.000	510	1.040
			30.000	765	2.205
			40.000	1.020	2.940
			50.000	1.275	3.675
			60.000	1.530	4.410
			70.000	1.785	5.145
			80.000	2.040	5.880
			90.000	2.295	6.615
			100.000	2.550	7.350

Tabla 7. "Consumos promedio y costes combustibles"

Tabla 8. "Resultados comparativos"

Comparativa de coste del combustible por kilómetros recorridos



Gráfica 8. "Comparación de costes del combustible consumido entre Think City y Seat Ibiza"

A la vista de los datos que se obtienen, el coste de la gasolina consumida después de 100.000 kilómetros, es casi tres veces mayor que el de la electricidad. Con estos datos, desde el punto de vista económico, por el ahorro que supone, la adquisición de un vehículo eléctrico para uso convencional se presenta como una opción muy atractiva.

Pero para ello se requiere toda una nueva infraestructura de presencia masiva de puntos de recarga en los lugares de aparcamiento (calles y garajes, tanto públicos como privados) y cambio de baterías, parecida a la de las gasolineras actuales, que no existe aún en ningún lugar, y producción en serie de vehículos eléctricos y sus baterías, frente a la producción pequeña y casi artesanal de la actualidad. Cualquier plan de electrificación del transporte debe contemplar la creación de esa infraestructura y la fabricación de los vehículos y componentes (incluidas las baterías), lo que requiere acuerdos entre administraciones y empresas.

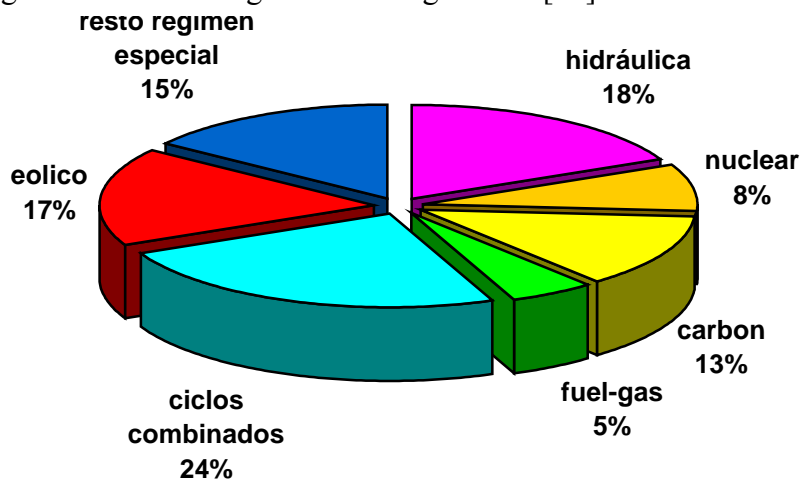
En esa línea ya se han dado pasos importantes en muchos países, a gran escala, como Australia, Nueva Zelanda y a otra escala en Israel donde la energía procederá de plantas solares, Dinamarca donde se apoyaran en su infraestructura de aerogeneradores o Islandia, donde el 75% de la población vive concentrada en un radio de 35 kilómetros o a través de proyectos piloto en Alemania, Reino Unido, Francia, Italia y China, entre otros países.

III. EL SECTOR ELECTRICO EN ESPAÑA

III.1 Generación de la energía eléctrica.

En la actualidad, en España contamos actualmente con una capacidad instalada de 90 gigawatts (GW) de la que en torno a 55-56 GW son firmes (no están condicionados a la existencia de viento o de agua embalsada). Esa capacidad supera con holgura la demanda eléctrica, cuya punta está situada en torno a los 45 GW [27]. Ese aumento de generación, ha venido procedente de un gran número de empresas, desde las ya establecidas (Unión Fenosa, Endesa, Iberdrola, etc), hasta empresas de nueva creación y que están teniendo una fuerte entrada en el mercado (Gas Natural, AES, Electrabel...).

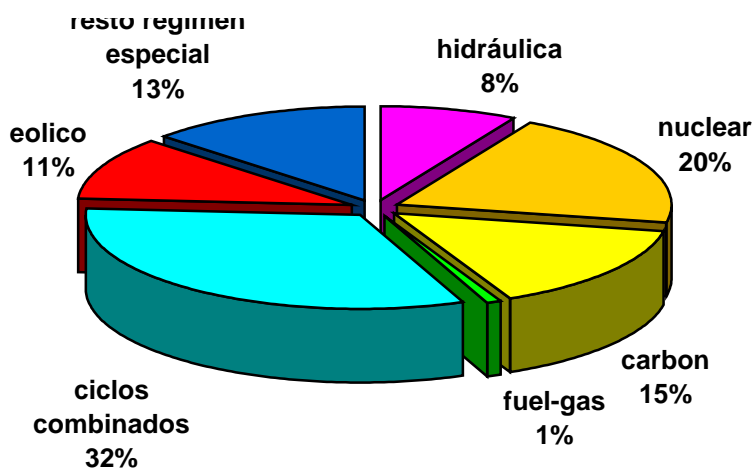
El reparto porcentual de la potencia instalada a 1 de enero de 2009 por tecnologías se muestra desglosado en la gráfica 9 [25]:



Gráfica 9. "Reparto de la potencia instalada por tecnologías"

Fuente: REE

En la gráfica 10 se muestra el mix de la generación durante el año 2008 :



Gráfica 10. "Composición del mix de generación durante 2008"

Fuente: REE

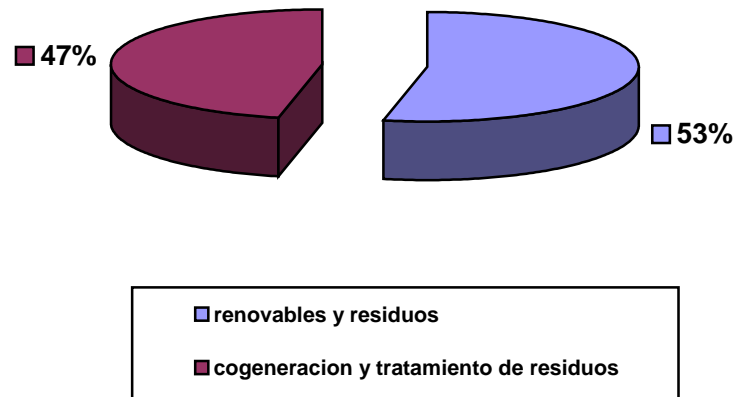
En términos numéricos, se muestran en la tabla 9 los valores de la potencia instalada y en la tabla 10 los valores de producción para el sistema eléctrico peninsular en el año 2008 (Fuente: Informe Sistema Eléctrico REE 2008 [25])

Tabla 9. "Potencia peninsular instalada 2008"		Tabla 10. "Producción de energía peninsular 2008". Fuente: REE	
Tecnología	(MW)	Tecnología	(GWh)
Hidráulica	16.657	Hidráulica	21.428
Nuclear	7.716	Nuclear	58.973
Carbón	11.359	Carbón	46.275
Fuel-Gas	4.418	Fuel-Gas	2.378
Ciclos combinados	21.675	Ciclos combinados	91.286
Total (régimen ordinario)	61.825	Total (régimen ordinario)	220.341
Generación eólica	15.874	Generación eólica	31.393
Resto régimen especial	12.998	Resto régimen especial	34.905
Total (régimen especial)	29.053	Total (régimen especial)	66.298
Total conjunto	90.878	Generación neta	278.301

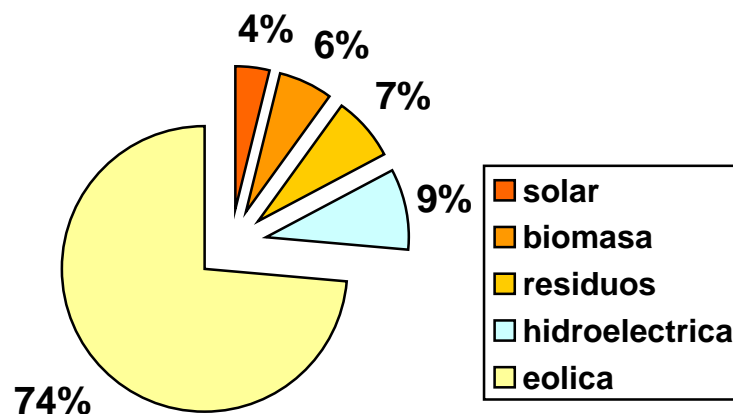
Dentro de las políticas medioambientales suscritas por los países firmantes del Protocolo de Kyoto, el compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, conlleva lógicamente, un descenso en la producción de energía basada en los combustibles fósiles, de ahí que las nuevas centrales puestas en marcha durante los últimos años hayan sido mayoritariamente de ciclos combinados o de régimen especial. Mención aparte merece la energía nuclear, cuyo futuro a nivel nacional está aún supeditado a que se abra el debate sobre su desarrollo o desaparición. La tendencia en España, a diferencia del resto de países desarrollados, es a priorizar el desarrollo de las tecnologías asociadas a las fuentes renovables por encima del resto de fuentes de energía. No obstante, y dado que la utilización de los recursos naturales para la producción energética con energías renovables no pueden abastecer todo el suministro de energía necesario, sería conveniente no marginar el desarrollo de otras tecnologías como las nucleares, sino compatibilizar su uso con las renovables, reduciendo

paulatinamente la dependencia de los combustibles fósiles, principales responsables de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, hasta conseguir que la producción de energía procedente de estas fuentes sea nula en el futuro.

La producción de energía de régimen especial y el reparto entre cada tipo en el sistema eléctrico peninsular español correspondiente al año 2008, están representadas en las gráficas 11 y 12 y se desglosaron del siguiente modo:



Gráfica 11. "Reparto producción régimen especial 2008"
Fuente: REE



Gráfica 12. "Reparto de la producción de renovables y residuos en 2008"
Fuente: REE

La superior capacidad de generación eólica instalada en España frente al resto de energías renovables, sumado al hecho de que las horas donde las mayores intensidades del viento coinciden ocasionalmente con las horas valle de consumo de energía, en las que el precio de la energía eléctrica es menor, postulan a los parques eólicos como la base sobre la que cimentar el desarrollo y la implantación de los vehículos eléctricos en España.

III.2 Redes de transporte y distribución

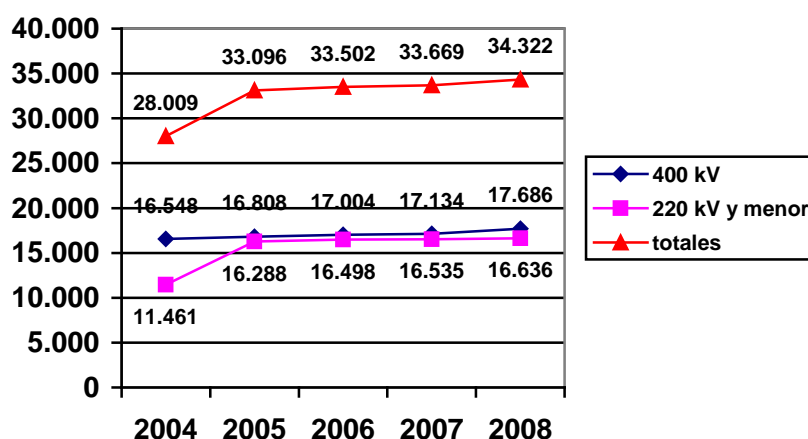
A nivel nacional, Red Eléctrica de España se encarga de transportar la energía eléctrica en alta tensión. Para ello, se ocupa de gestionar las infraestructuras eléctricas que componen la red de transporte y conecta las centrales de generación con los puntos de distribución a los consumidores finales de la energía.

Asimismo, Red Eléctrica es el gestor de la red de transporte y actúa como transportista único, desarrollando esta actividad en régimen de exclusividad. Red Eléctrica es propietaria del 99% de la red de transporte en alta tensión y, por tanto, es la única empresa especializada en la actividad de transporte de energía eléctrica en España. El 1% restante, actualmente en propiedad de las empresas eléctricas, deberá ser adquirido por Red Eléctrica, según establece la Ley 17/2007 en un plazo máximo de tres años desde su aprobación.

La red de transporte está compuesta por más de 34.300 kilómetros de circuitos de líneas eléctricas de alta tensión y más de 3.100 posiciones de subestaciones, y cuenta con más de 62.000 MVA de capacidad de transformación. Estos activos configuran una red mallada, fiable y segura, que ofrece unos índices de calidad de servicio de máximo nivel al sistema eléctrico. La gestión de la red de distribución, corresponde a las compañías distribuidoras de la electricidad como Endesa, Iberdrola o Unión Fenosa [26].

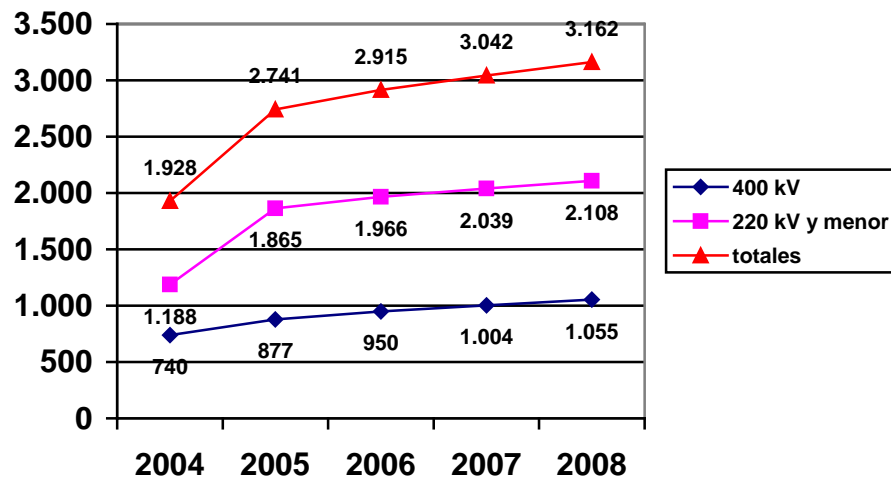
Como gestor de la red de transporte, Red Eléctrica es responsable del desarrollo y ampliación de la red, de realizar su mantenimiento, con criterios homogéneos y coherentes para proporcionar la fiabilidad y disponibilidad requerida, de gestionar el tránsito de electricidad entre sistemas exteriores y la península y garantizar el acceso de terceros a la red de transporte en régimen de igualdad.

En la gráfica 13, se muestra la evolución de los kilómetros de circuitos de la red de transporte instalados en la península durante el último lustro:



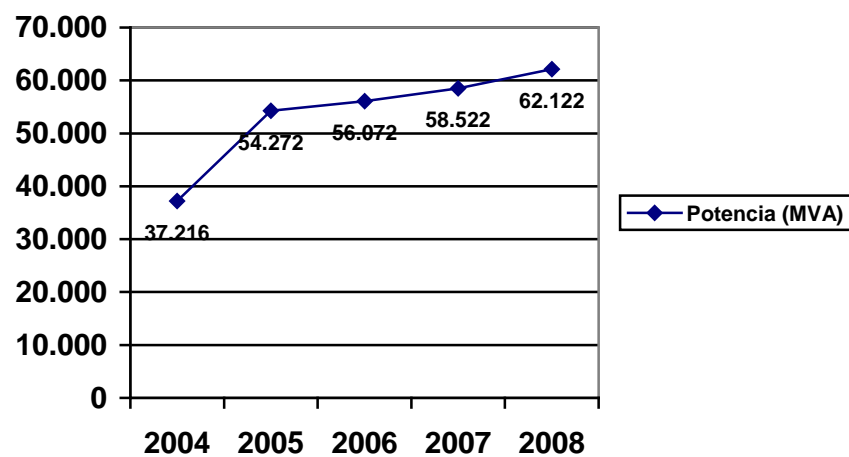
Gráfica 13. "Kilómetros de circuitos de la red de transporte instalados durante 2004-2008". Fuente: REE

En lo que se refiere a la evolución de las posiciones de subestación en el sistema peninsular, el desarrollo de los últimos cinco años se muestra en la gráfica 14:



Gráfica 14. "Evolución de posiciones de subestación durante 2004-2008 en la península" Fuente: REE

Por último, y siguiendo con la tendencia creciente mostrada hasta ahora, en la gráfica 15 se representa la capacidad de transformación de los centros que ha evolucionado de la siguiente manera:



Gráfica 15. "Evolución de la capacidad de transformación peninsular" Fuente: REE

En la figura 19, se muestra la composición del mapa de la red eléctrica de transporte peninsular en 2008.

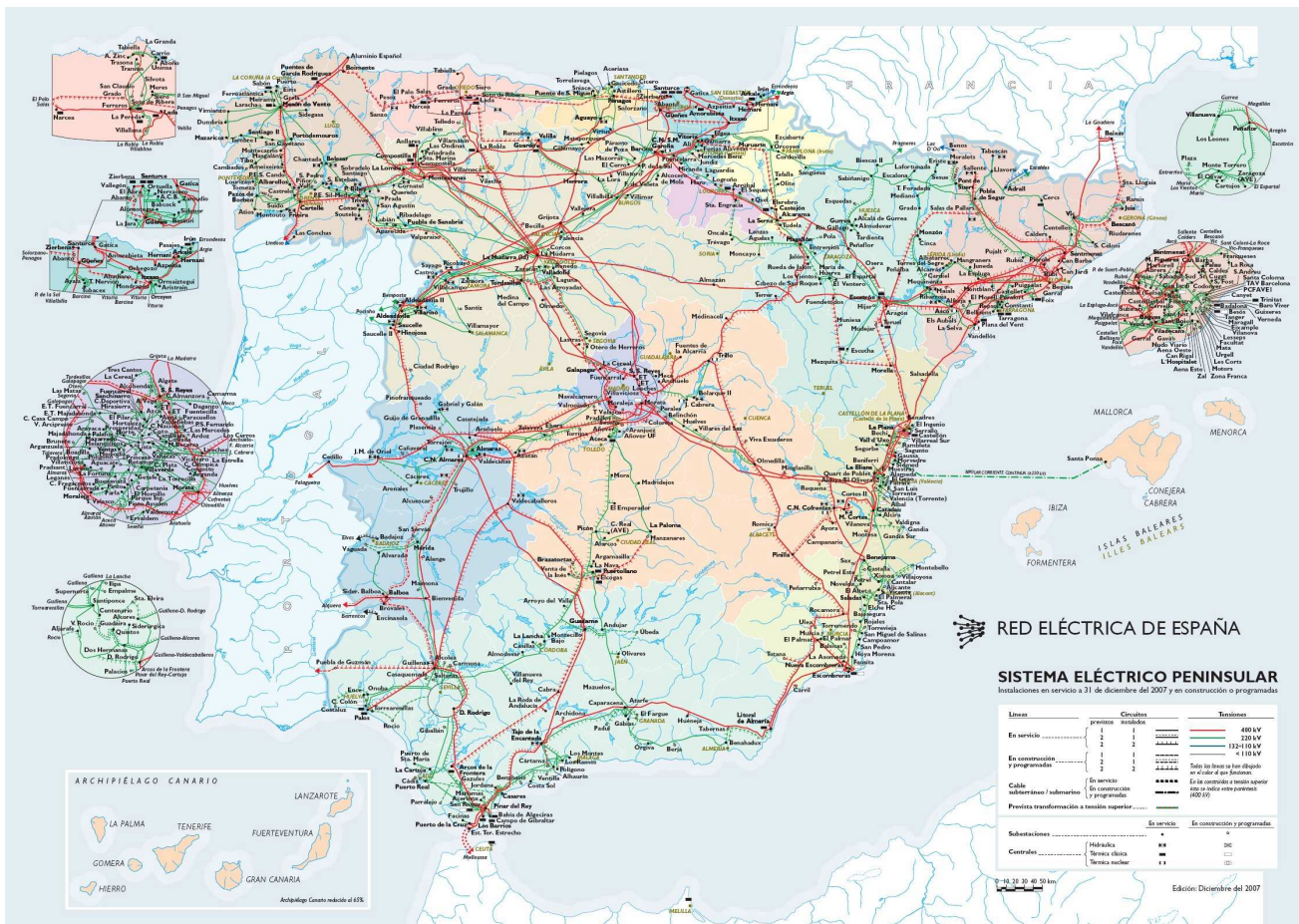
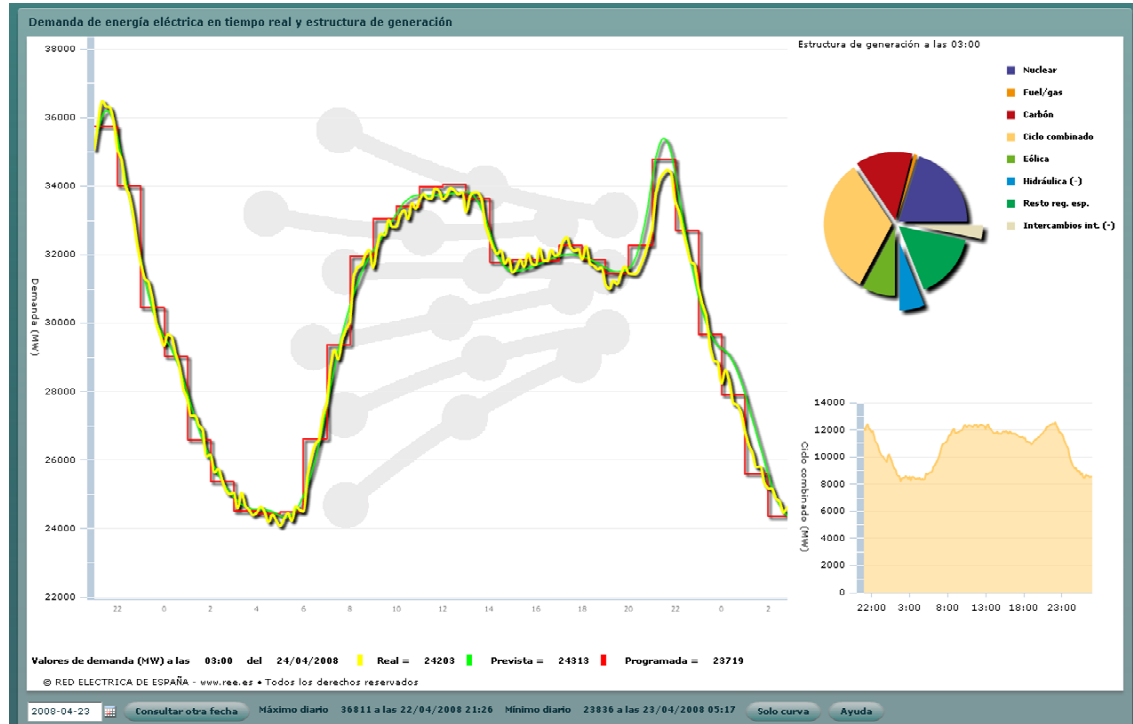


Figura 19. “Detalle de la red de transporte eléctrico peninsular”

Fuente: REE

III.3 Curva de la demanda

La curva de la demanda eléctrica, es un gráfico que muestra el consumo total del sistema eléctrico en un periodo de tiempo establecido, que suele ser de 24 horas. El consumo tipo de un día laborable cualquiera se podría representar mediante la gráfica 16:



Gráfica 16. "Detalle de la evolución de la curva de la demanda eléctrica"

Fuente: REE

Para el sistema nacional, la información que se puede obtener de dicha curva, cuya gestión en tiempo real se puede visualizar en la pagina web de REE (<https://demanda.ree.es/demanda.html>), comprobando cual es el mix de generación presente, cual es el CO₂ asociado a cada fuente de generación. Dichas emisiones son calculadas asociando a cada tecnología el factor de emisión recogido en el Plan Español de Energías Renovables 2005-2010, en línea con la Decisión de la comisión europea 2007/589/CE. De igual modo, se representa la evolución de los consumos programados, reales y previstos cada diez minutos representados cada uno por una línea de distintos colores.

La demanda real, se representa con la curva amarilla y refleja el valor instantáneo de la demanda de energía eléctrica. Su evolución recoge las particularidades estacionales y horarias, así como el nivel de actividad económico y social y ritmo del país.

La previsión de la demanda viene definida por la curva de color verde y es elaborada por el operador del sistema basándose en los valores de consumo de períodos anteriores, pero aplicando unos factores de corrección basados en aspectos de tipo climatológico o laborales (día festivo, frío o sol, etc.)

La programación horaria operativa, que aparece representado por una línea escalonada roja, es la producción programada para los equipos de generación a los que con anterioridad, se haya adjudicado el suministro de energía en la casación de los mercados diario e intradiario así como en los mercados de gestión de desvíos y regulación terciaria. Estos dos últimos son gestionados por Red Eléctrica.

III.3.a Estimaciones futuras de consumo-producción

Para realizar la previsión de la demanda futura de energía a largo plazo, se deben tener en cuenta una serie de factores, como son la evolución social y la actividad económica, la distribución sectorial, el desarrollo tecnológico y los condicionantes legales que influyen en su tendencia evolutiva, como pueden ser los relativos a la protección del medio ambiente.

A partir de la demanda objetivo de energía final así estimada, se calculan las necesidades de energía primaria para asegurar ese abastecimiento, incluyendo las energías utilizadas en la generación de electricidad y los consumos propios de los sectores energéticos, así como las pérdidas derivadas de la transformación, distribución y transporte de energías. En esta estimación, deben tener particular relevancia la identificación de las tecnologías de generación eléctrica que cubrirán previsiblemente la demanda y el potencial desarrollo de nuevas energías primarias.

Dentro del documento elaborado por la Subdirección General de Planificación Energética del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC) relativo a la planificación de los sectores de la electricidad y gas de mayo del 2008, se recoge la previsión de la evolución energética en España para el período 2006-2016 [14]. Todo lo relativo a dichos sectores, sigue un proceso de evaluación ambiental estratégico cuyo objetivo es orientar la planificación desde el inicio hacia los objetivos ambientales para hacerla más sostenible. Un punto básico de esa estrategia es la apuesta firme y decidida por el desarrollo de las energías renovables, debido a su reducido impacto ambiental en comparación con otras energías y a que su carácter autóctono favorece el autoabastecimiento energético, reduciendo la dependencia exterior, contribuyéndose así al desarrollo sostenible. De igual modo para favorecer la integración de las energías renovables en el mix energético nacional, la implantación de los vehículos eléctricos ayudaría a este objetivo, al tiempo que se conseguiría aplanar la curva de la demanda rellenando la zona valle.

El escenario en el que se realizan las estimaciones, asume la continuidad del proceso de crecimiento del comercio mundial y globalización económica. Por otro lado, los objetivos medioambientales representan la restricción mas relevante en cuanto a tipos de energías a utilizar, tecnologías de transformación y uso final y evolución de la eficiencia energética. Se asume que las tasas de crecimiento de los precios de las energías primarias en España sean similares a las previstas en los mercados internacionales, pero la fiscalidad sufrirá un relativo encarecimiento al estar condicionada a la armonización de impuestos especiales a nivel de la UE.

La evolución demográfica también tiene un peso importante en la elaboración del documento. Las últimas tendencias muestran un significativo aumento de la población debido fundamentalmente al fenómeno inmigratorio. El dato estimado por el

Instituto Nacional de Estadística (INE), proyecta una ligera moderación en el flujo de entradas, y sitúa en 50 millones de personas la población total en España para 2015.

En cuanto a la evolución económica, se toma la hipótesis de un crecimiento estable del comercio mundial de bienes y servicios, situándose dicho crecimiento en un 1,9 % anual medio hasta 2010 y del 2,1 % en 2010-2016 para la UE-15. No obstante, dichas previsiones se han visto alteradas por la situación de crisis económica global que se inició a finales de 2008 y aún hoy, a finales de 2009 se sigue sufriendo.

Por lo que respecta al problema de lo relacionado con el cambio climático, se contempla la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ en generación eléctrica, derivada de los Planes Nacionales de Asignación de Derechos de Emisión. También se tiene en cuenta que en el horizonte 2012-2020 se deberá producir una gran reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la UE. Se deberá pasar del compromiso del Protocolo de Kioto (8 % respecto a 1990) a unas reducciones del 20 % para el año 2020, lo que implica la necesidad de un mix de tecnologías de transformación mas eficientes, sobre todo en generación eléctrica. Los datos estimados en el informe del MITyC para la generación en el horizonte 2016 se muestran en la tabla 11.

	2006		2011		2016	
	ktep	%	ktep	%	ktep	%
Carbón	18.477	12,8	13.919	9,0	13.221	8,0
Petróleo	70.865	49,0	69.521	45,1	69.601	42,1
Gas	30.673	21,2	36.988	24,0	41.325	25,0
Nuclear	15.669	10,8	15.375	10,0	15.375	9,3
E.renovables	8.666	6,0	18.648	12,1	26.077	15,8
Residuos no renov.	411	0,3	411	0,3	411	0,2
Saldo eléct. (Imp-Exp)	-282	-0,2	-720	-0,5	-816	-0,5
Total	144.478	100,0	151.143	100,0	165.195	100,0

Tabla 11. "Estimaciones de ktep en generación 2006-2016".

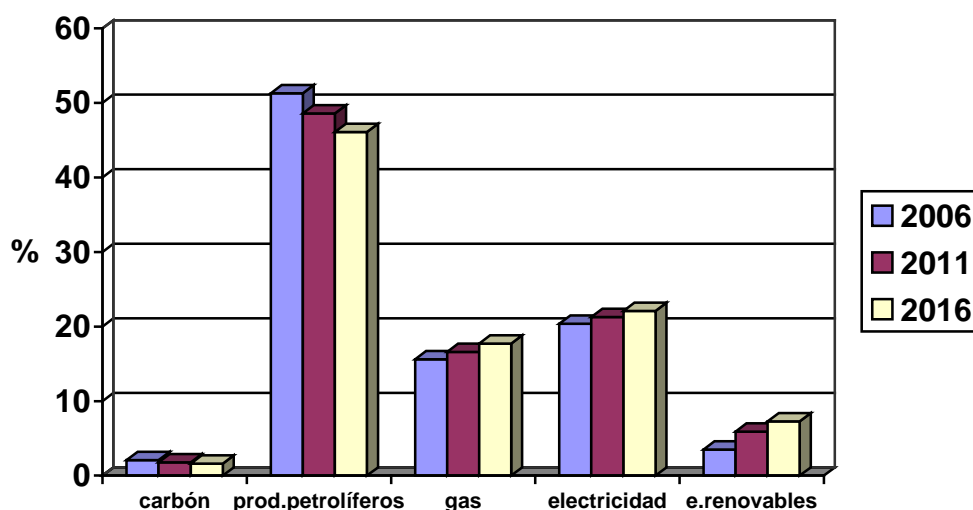
Fuente: Planificación energética MITyC

En términos numéricos, el consumo final de energía en España en el horizonte 2016 y con el escenario descrito, se estima que crecerá a un ritmo del 1,8 % anual hasta 2011 y al 1,4 % en 2011-2016, alcanzando 123.505 ktep en 2016. En estos cálculos, destaca el aumento del peso de las energías renovables y el descenso del consumo de los productos petrolíferos. Estimaciones reflejadas en la tabla 12 y gráfica 17.

	2006		2011		2016	
	ktep	%	ktep	%	ktep	%
Carbón	2.265	2,1	2.210	1,8	1.970	1,6
Prod.Petrolíferos	54.090	51,3	55.589	48,6	56.936	46,1
Gas	16.457	15,6	19.094	16,6	21.914	17,7
Electricidad	21.511	20,4	24.475	21,3	27.323	22,1
E.renovables	3.736	3,5	6.757	5,9	9.075	7,3
Total usos energéticos	98.059	93,0	108.205	94,1	117.219	95,0
Usos no energéticos						
Prod.Petrolíferos	6.916	6,6	6.381	5,5	5.845	4,7
Gas	441	0,4	441	0,4	441	0,4
Total usos finales	105.416	100	115.027	100	123.505	100

Tabla 12. "Estimaciones del origen de la generación de electricidad"

Fuente: Planificación energética MITyC 2006-2016



Gráfica 17. "Estimaciones del origen de la generación de electricidad"

Fuente: Planificación energética MITyC 2006-2016

El escenario planteado muestra una contracción en el consumo final de energía con respecto al experimentado en la última década debido en parte a las medidas de ahorro previstas en la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética (E4). Estos ahorros se detraen del consumo de energías fósiles, no afectando al consumo de energías renovables cuyo peso en el aporte se pretende elevar.

En este punto, dentro del Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER) se prevé cubrir al menos el 12% de la energía primaria y el 30,3% del consumo bruto de electricidad con fuentes renovables en 2010. La estimación de este plan en cuanto a la contribución de la energía eólica en términos de potencia instalada en 2010, se cifra en 20.000 MW. Las estimaciones realizadas mediante el plan de planificación energética hasta el año 2016 por REE, prevén que el consumo de energía primaria en España crezca a un ritmo de tasa media anual entorno al 1,4 por ciento. Los proyectos previstos supondrán la puesta en marcha de 12.270 kilómetros de nuevas líneas de 400 y 220 kV y la repotenciación de 8.308 kilómetros más.

En términos cuantitativos, y tomando como referencia el vehículo eléctrico que consume 17 kWh/100 km y recorre 25.000 km anuales, en la tabla 13 se representa cuántos de éstos pueden recargarse anualmente para las diferentes capacidades de generación de las distintas plantas energéticas:




Tipo de planta energética	Producción anual MWh/año	Vehículos recargables (Unidades)
	Aerogenerador 1,5 MW	3.300
	Planta fotovoltaica 10 MW	4.700
	Central nuclear 1.000 MW	2.000.000

Tabla 13. "Vehículos recargables según tipo de generación"

Fuente: REE

Bajo estas consideraciones, los incrementos de consumo que se produzcan serán perfectamente asumibles por el crecimiento progresivo de nuevas centrales generadoras al sistema. Asimismo, para el potencial incremento de cargas para la red que supondría la inclusión a la misma de un elevado número de coches eléctricos, siempre y cuando se realizase una gestión inteligente de la recarga de los mismos, no habría ningún tipo de problema, estando perfectamente garantizado el suministro. Tomando como punto de referencia el realizar una gestión eficaz y efectiva del mercado eléctrico una vez incluidos los vehículos eléctricos, será necesario poner en marcha un sistema global de conexión que permita incluso que los propios vehículos eléctricos puedan vender la energía almacenada en sus baterías al sistema en caso de necesidad del mismo. Y para ello, se implementarían las redes V2G, *smart grids* o redes inteligentes.

III.4 Redes V2G. Redes inteligentes o Smart Grids.

La denominación *V2G* corresponde al acrónimo de las siglas inglesas de “Vehicle-to-Grid”, figura 20 (del vehículo a la red). A día de hoy, es tecnológicamente inviable llevarlas a cabo, no obstante, si la implantación del vehículo eléctrico se lleva a buen término y su uso se extiende ampliamente, es sin duda el siguiente paso a desarrollar. Es la tecnología que permite el almacenamiento de energía en las horas valle y la recuperación de la electricidad en las horas punta desde las baterías de los vehículos eléctricos a la red. La tecnología V2G permite cargar las baterías durante las horas valle, cuando el kWh es más barato, y venderlo a la red en horas punta, cuando el kWh es más caro. Con la V2G todos ganan: los propietarios de los vehículos, las empresas eléctricas, la sociedad y el planeta, aunque para ello se requiere crear toda una infraestructura hoy inexistente [45]. Pero incluso sin las redes inteligentes, la electrificación del transporte tiene grandes beneficios para todos.

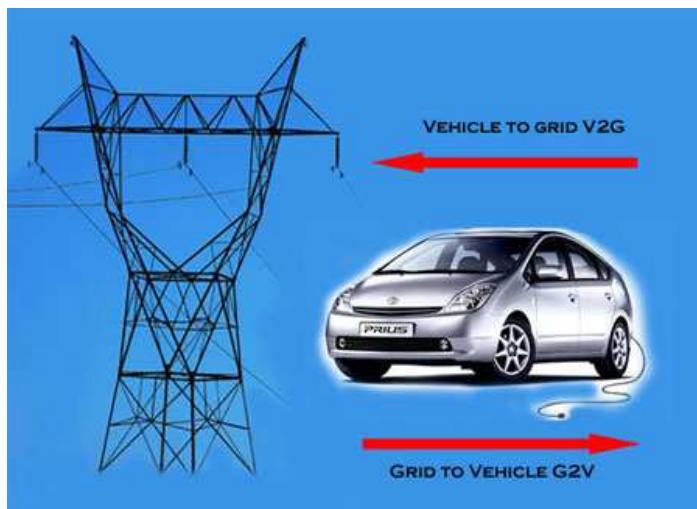


Figura 20. “Interconexión vehículo a la red”

Fuente: REVE

Por carecer de la clásica infraestructura de transporte basada en los hidrocarburos, se piensa que serán China e India los países que acometan la más profunda electrificación del transporte, en el clásico salto tecnológico, muy similar al de los países en desarrollo que se han pasado a la telefonía móvil sin pasar por la telefonía fija. China es el mayor fabricante de baterías de litio y cuenta con BYD Motors y otras empresas punteras en el desarrollo de los vehículos eléctricos, al igual que India con Reva y Tata, y en ambos países se espera un enorme crecimiento del parque de vehículos paralelo al surgimiento de una nueva clase media que por primera vez accederá a la motorización.

La recarga de los vehículos eléctricos puede ser conductiva o inductiva. El sistema conductivo es una conexión directa a la red, tan simple como enchufar el vehículo mediante cables especiales de alta capacidad con conectores que protejan al conductor de las altas tensiones. El acoplamiento inductivo tiene la ventaja de imposibilitar cualquier electrocución, pero es más caro y menos eficiente que el primero.

La electricidad de la red se suministra en corriente alterna al vehículo. Normalmente el cargador la convierte en corriente continua y la suministra a la tensión adecuada a la batería, desde donde se suministra al motor y a las ruedas. Algunos motores funcionan con corriente alterna, por lo que un inversor debe convertir la corriente continua de la batería.

En España, la tarifa nocturna o valle, desde el 1 de julio de 2008 ha pasado a denominarse *tarifa de discriminación horaria*. La nueva tarifa de discriminación horaria tiene unos nuevos periodos “valle” (22 h a 12 h y una hora más tarde en verano) y “punta” (resto de horas). Como el precio de la energía es inferior a la normal en periodos valle, lo usual sería recargar las baterías por la noche. Una red “inteligente” de gran número de puntos de recarga en calles y aparcamientos, con el software apropiado, diría al vehículo cuando debe recargar, parar e incluso verter la electricidad a la red. Hay que tener en cuenta que la mayor parte del parque pasa gran parte del tiempo aparcado, utilizándose sólo una o dos horas al día en la mayoría de los casos. Por término medio el 95 por ciento de todos los automóviles están estacionados en un momento dado, utilizándose como media una hora al día. Por ello, sería conveniente incentivar económicamente el que se realizasen las recargas en las horas valle y se permitiera utilizar la energía almacenada en las baterías de los vehículos en caso de necesidad para verterla a la red pagándose por dicha energía un precio mayor del que costó.

La gestión inteligente de la carga, la forma de realizar la interconexión de los puntos de recarga con el sistema suministrador y un modelo tarifario que se encuentre en consonancia con la nueva demanda, son los principales retos a los que se enfrenta la industria para conseguir que el coche eléctrico pueda ejercer también la función de regulador.

Por esta razón los vehículos eléctricos pueden jugar un papel clave para empezar a gestionar mejor la red, aplanar la curva de carga, aprovechar la llamada reserva activa que en gran parte se desaprovecha (la cantidad de electricidad disponible para garantizar la inmediata disponibilidad en caso de necesidad por un aumento inesperado de la demanda) y permitir un aumento de la aportación de la eólica y otras energías renovables, y quizás suponga una reconversión de los sectores eléctricos y de transporte, dando lugar a nuevas empresas especializadas, siguiendo un modelo similar al que se sigue en la telefonía móvil.

La reserva activa podría suministrar la electricidad que consume un tercio del parque de vehículos en la mayoría de los países, siempre que exista la red adecuada, y evitaría tener que crear una capacidad de generación muy costosa que sólo se va a utilizar unas pocas horas al año, esas 30 ó 40 horas de puntas de demanda que coinciden con olas de frío o de calor.

Un vehículo eléctrico tipo, que recorra unos 17.000 kilómetros al año, y realice la recarga en un 80% con tarifa nocturna, gastaría unos 800 euros al año en electricidad. Recorrer esa misma distancia con gasolina o gasóleo costaría de 2.000 a 2.500 euros en combustible, dadas las pautas normales de conducción [46].

Para el sistema eléctrico, la electrificación del transporte no sólo supone abrir un nuevo mercado para su producto, la electricidad, sino también la posibilidad de optimizar el parque de generación y la red eléctrica, aplanando la curva de carga, al incentivar una nueva demanda en horas valle, mediante la recarga inteligente de las baterías, gestionada por ordenador, y que avise de cuando cargar, interrumpir o verter electricidad a la red en las horas punta. Tal sistema es óptimo para gestionar la creciente aportación de la energía eólica, y dar un paso de gigante hacia la sostenibilidad de la generación de energía eléctrica, principalmente de origen renovable.

Los primeros pasos de estas redes ya se han dado en España, lo que permitirá una gestión global de toda la infraestructura eléctrica de distribución de forma remota, gracias a las telecomunicaciones de banda ancha. La cátedra BP de Desarrollo Sostenible de la Universidad Pontificia de Comillas ha elaborado un documento en el que se analiza el impacto de la implantación del coche eléctrico [48]. El documento hace hincapié en estas redes inteligentes definiéndolas como “Sistemas que permitan una relación bidireccional en los flujos entre la red y los coches, y que faciliten la transmisión de las señales necesarias para que los coches se conecten a la red en los períodos adecuados para el correcto funcionamiento de la red eléctrica”. Se muestra el esquema de funcionamiento en la figura 21.

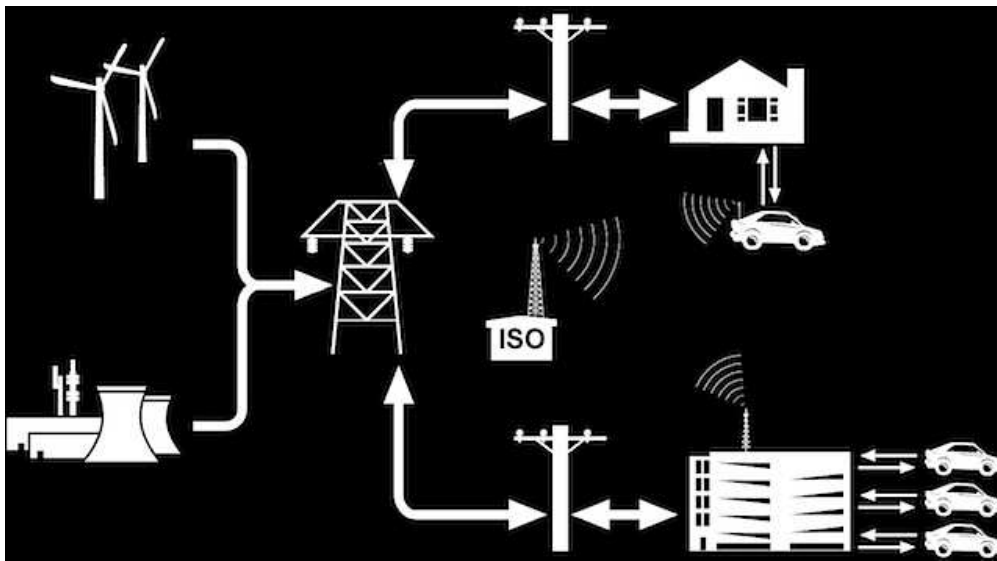


Figura 21. “Esquema de funcionamiento de las V2G”

Fuente: Reports on V2G [52]

La compañía californiana AC Propulsion [54], ha sido la primera en desarrollar el vehículo eléctrico con comunicación bidireccional con la red, el eBox, que incorpora la tecnología patentada *tzero*. Este sistema permite el flujo bidireccional de energía en 50 o 60 Hz, lo que permite que la propia batería del vehículo provea de energía incluso a una vivienda. Asimismo, permite la conexión entre vehículos (V2V, vehicle to vehicle) lo que posibilitaría realizar una asistencia en carretera a un vehículo eléctrico que se haya quedado sin energía en la batería, aplicándole una carga rápida.

En España, el Real Decreto 809/2006 de 30 de junio, en su disposición adicional segunda dispone que desde el 1 de julio de 2007, todos los equipos de medida a instalar

para nuevos suministros hasta 15 kW así como los que se sustituyan para los antiguos suministros, deben permitir la discriminación horaria y la gestión telemática (comunicación bidireccional) para lo cual el Ministerio de Industria obliga a las empresas comercializadoras a sustituir todos los contadores antes de 2018. Dado que el coste de un contador, según estimaciones de Iberdrola, con todas las prestaciones tecnológicas ronda los 500 €, llevar a cabo la sustitución de los casi 25 millones de puntos, supondrá una inversión total de 12.500 millones de €.

La tecnología todavía debe alcanzar un acuerdo para la lograr la estandarización de las soluciones que deben incorporar los nuevos contadores. Desde Bruselas se está impulsando el proyecto I+D+i Open Meter, que va a desarrollar una tecnología estándar para la telegestión de contadores. A su vez, Endesa, Enel, EDP, EDF y RWE pusieron en marcha el pasado año Innovation Utilities Alliance para trabajar en esa dirección.

El conocimiento de las costumbres de consumo de energía de los usuarios permitirá a las eléctricas saber en qué momentos hay más demanda. A partir de ahí, tendrán más facilidad para saber qué tipo de energía es mejor en cada momento. Los expertos coinciden en que así se mejora la coordinación para lograr una mayor disponibilidad de las energías renovables y anticipando más acertadamente las necesidades de suministro.

Iberdrola ha desarrollado igualmente planes como GAD (gestión activa de demanda), para optimizar el consumo, o Address, que busca 'integrar el concepto de smartgrid' en áreas como la gestión de la demanda, la integración de las renovables y la automatización de la distribución

IV. CONDICIONANTES DE LA RECARGA DEL COCHE ELECTRICO

El coche eléctrico es una realidad fehaciente en todos los sentidos y para posibilitar su desarrollo e implantación masiva, una vez tratado su otro punto clave como son las baterías, solo queda responder a las siguientes cuestiones que se plantean:

- ¿Dónde o cómo se recarga?
- ¿Durante cuánto tiempo?
- ¿A que precio?
- ¿Con qué tipo de conexiones?

La respuesta a estos interrogantes supone el núcleo de la cuestión a tratar en este trabajo, por lo que procedemos a profundizar en los factores que influyen a cada una de ellas.

Para todos los supuestos de cálculo que se van a plantear en este trabajo, dentro del catálogo de vehículos que aparecen enmarcados dentro del plan MOVELE tomaremos como vehículo tipo el Think City, importado por Motorener y catalogado como automóvil (no como cuadriciclo, término que corresponde a los microcoches que pueden conducirse con licencia de motocicleta) y que es el más adecuado para los supuestos de cálculo, ya que se postula como uno de los de mayor posibilidad de aceptación por sus características. Los datos mas significativos a nivel de ficha técnica se muestran en la tabla 14:

Tiempos de recarga (conexión doméstica)		
0-100 % aprox. 13 horas, 230 VAC/14 A		0-80 % aprox.8 horas, 230 VAC/ 14 A
Autonomía		
Entre 170-200 km según el tipo de uso		
Baterías		
Zebra 28.3 kWh, sodio	Enerdel, Li-ion	A-123, Li-ion
Motor		
Trifásico asíncrono, potencia máxima 30 kW		

Tabla 14. "Datos característicos del Think City"

Fuente: Think!

En cualquier caso, los tiempos de recarga, con independencia del vehículo que tengamos en consideración, estarán supeditados a la potencia eléctrica de los puntos de recarga. El horizonte de todas las estimaciones es 2016.

IV.1 ¿Dónde y cómo lo recargaremos?

Dos son las opciones que se barajan actualmente para realizar la recarga del coche eléctrico. Por un lado, está el cambio completo de la batería. Por otro la recarga mediante conexión a la red. En España, inicialmente la apuesta es por el segundo tipo, ya que en tanto no se disponga de una red suficiente de estaciones de recarga en carreteras, el uso de estos vehículos va a ser eminentemente urbano, salvo en el caso de los híbridos enchufables.

Tomando como punto de partida para este trabajo el hecho de que la recarga de los vehículos se realizará mayoritariamente en las horas valle, supuestamente de menor precio de la energía, para responder a esta cuestión, habría que conocer cual es el porcentaje de vehículos que durante la noche pernoctarán en garajes privados o públicos y cuántos lo harán en la vía pública.

Aquellos usuarios de coches eléctricos que dispongan de garajes particulares, no tendrán mas que conectar su vehículos a algún enchufe adaptado para la recarga de la batería que se encuentre en su propio recinto. Por el contrario, aquellos cuyos vehículos descansen en la vía pública, tendrán que conectarse a los postes de recarga que deberán habilitarse a tal fin. Habida cuenta de la mala experiencia, por los actos de vandalismo, que han sufrido los parquímetros en la vía pública, cabe cierto reparo ante el hecho de si realmente llegarán a ubicarse dispositivos de recarga en la mismas calles a la intemperie. Esta reciente experiencia, probablemente limitará la instalación de postes de recarga públicos a ciertas zonas vigiladas o directamente aparcamientos subterráneos públicos donde se habiliten cierto número de plazas de uso exclusivo para los coches eléctricos de igual modo a como se viene haciendo en la actualidad con las plazas para minusválidos por ejemplo. Sirvan como ejemplos prácticos, el aparcamiento de la Plaza de Cánovas del Castillo en Valencia, o el inaugurado recientemente en Madrid, en la Plaza del Duque de Pastrana o los nuevos aparcamientos que se están construyendo en la calle Serrano [20]. Barcelona y Sevilla, son las otras dos capitales de provincia, que enmarcadas dentro del Proyecto MOVELE, han proyectado la construcción de puntos de recarga públicos para los vehículos.

Previamente a la colocación de los puntos de recarga, tanto públicos como privados a nivel doméstico, debe llevarse a cabo un amplio desarrollo tecnológico para implementar el protocolo de recarga. Asimismo, se deberán desarrollar sistemas de repostaje rápido análogos a los surtidores de gasolina actuales.

No obstante, en cualquier momento del día se puede precisar de una recarga del vehículo, por ejemplo mientras el propietario del vehículo se encuentre trabajando o realizando la compra en una gran superficie en las horas fuera del periodo valle. Para que la integración del vehículo eléctrico sea completa, debe posibilitarse tanto la infraestructura necesaria de recarga como los sistemas de comunicación con el operador, ya que si un elevado número de vehículos se recargasen durante el periodo de punta de la curva de la demanda, se produciría una gran inestabilidad en la operativa del sistema.

IV.2 ¿Durante cuanto tiempo y a que horas?

Para analizar este punto, se debe tener en cuenta que para realizar un repostaje de 50 litros en un surtidor de gasolina, se emplean no más de 5 minutos.

Por tanto, esta cuestión, inexorablemente va de la mano de la anterior. El tiempo de recarga de las baterías depende fundamentalmente de si realizamos un cambio de baterías, precisamos una recarga rápida, del orden de 20 minutos (e incluso no superior a 5 minutos según postula Better Place) o si por el contrario podemos prolongarla durante un periodo de tiempo superior a las 4 horas, llegando incluso hasta las 8 horas.

El cambio de baterías se lleva a cabo en el mismo tiempo en que se reposta el combustible, lo que desde el punto de vista práctico la hace interesante. No obstante, nos centraremos en las recargas con conexión a red.

Evidentemente, una recarga rápida será inviable de efectuar en un punto de conexión doméstico, ya que las potencias contratadas en dichos ámbitos, raramente superan los 5,5 kWh. Teniendo en cuenta que las baterías de los coches eléctricos de corte más urbano tienen una capacidad en torno a 30 kWh, aplicando distintas potencias de recarga nos quedan los siguientes valores, con la fórmula de cálculo que se describe, para instalación monofásica:

$$P = V \cdot I \quad (6)$$

P Potencia eléctrica desarrollada, en watios (W)

V Valor instantáneo de tensión, en voltios (V)

I Valor instantáneo de la corriente, en amperios (A)

Para recargar una batería de 30 kWh en 20 minutos, con una tensión doméstica de 220 V, se precisaría una potencia de recarga de 60 kW, lo que generaría una corriente de 272 A.

Para un valor de potencia de 5 kW, aplicando la misma tensión eléctrica, obtendríamos un valor de 22 amperios, y un tiempo de recarga de 6 horas.

Por último, para una potencia de 3 kW, con la tensión ya mencionada, el valor de la corriente sería de 13 amperios y el tiempo de recarga de 10 horas.

Datos reflejados en la tabla 15:

Tension (V)	Potencia recarga (kW)	Corriente (A)	Tiempo recarga (h)
220	60	272	0,33
220	5	22	6
220	3	13	10

Tabla 15. "Tabla de resultados para recargas con tensión 220 V"

Los valores de intensidad calculados para las potencias de recarga de 3 y 5 kW son admisibles para las instalaciones de ámbito domestico, mientras que el primero de

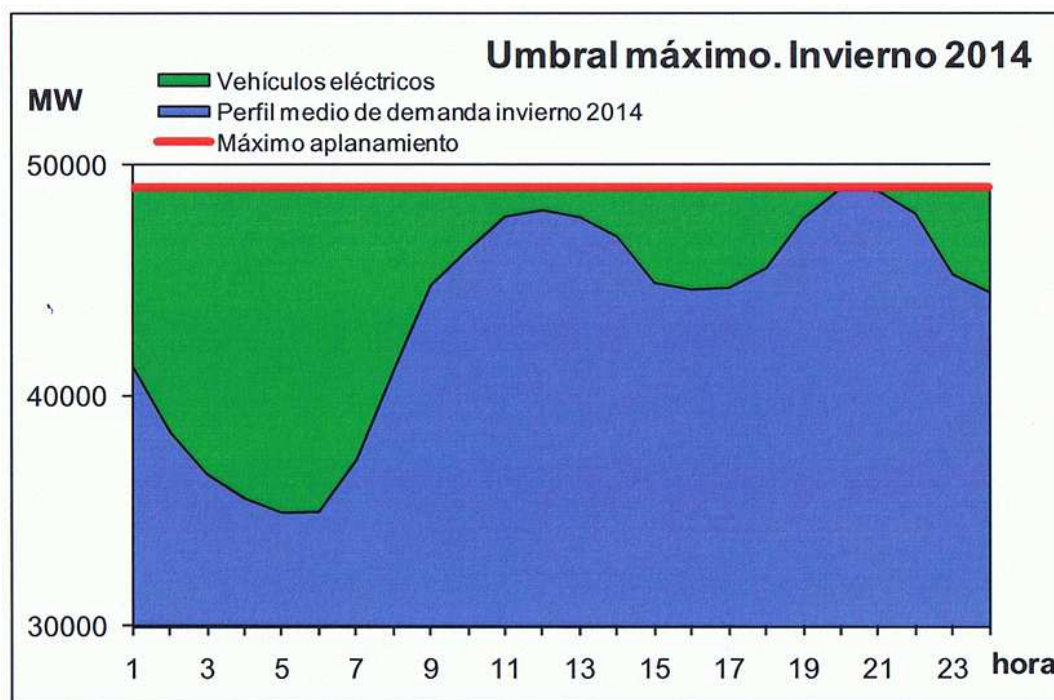
los valores calculados, supera con creces las capacidades nominales de dichas instalaciones, por lo que únicamente se podrán destinar dichas potencias para las denominadas recargas rápidas, que se llevarán a cabo en lugares muy concretos y serán de una duración estimada de unos 30 minutos.

Por otra parte, para las potencias de recarga inferiores, de ámbito doméstico con un intervalo de potencia contratada entre los 3 y 5 kW, los tiempos de recarga completa de las baterías tipo (del orden de los 20 kWh) serán siempre no inferiores a las 4 horas ni previsiblemente, superiores a 8 horas. Y es en este punto, cuando se debe tomar en cuenta como influiría sobre el sistema eléctrico, y más concretamente, sobre la curva de la demanda, el hecho de que las recargas se produjeran durante un determinado período de tiempo y de forma mayormente simultánea.

Según se ha descrito anteriormente, para el vehículo Think City, los tiempos estándares de recarga se sitúan entre 8 y 13 horas para una corriente de 14 amperios y unos porcentajes de carga entre 80-100%, por lo que como datos eléctricos de partida, una vez que tenemos seleccionado el vehículo, tomaremos a nivel de valor doméstico, el escalón de potencia de los 5,5 kW a la hora de realizar todos los cálculos y consideraciones.

Tomando como horizonte de cálculo 2014, se va estudiar como se vería afectada la curva de la demanda en distintos supuestos escenarios.

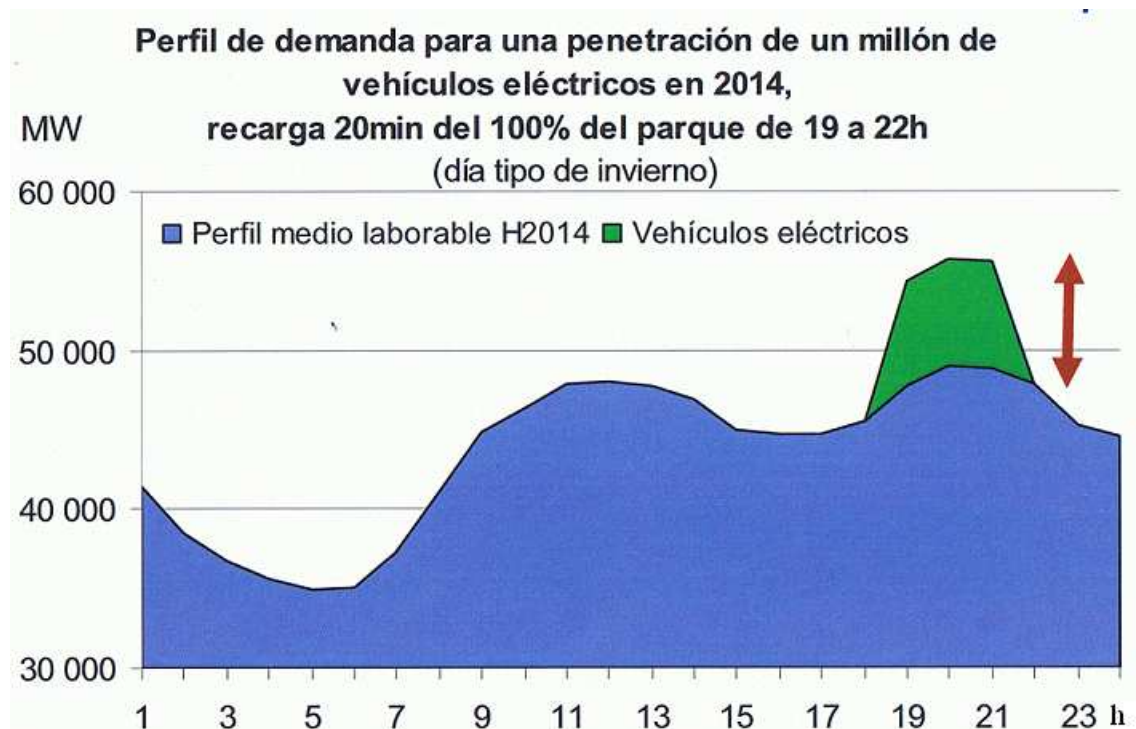
El caso más extremo favorable que se puede plantear, es el de aprovechar toda la energía restante de generación del sistema no vertida a la red, para recargar los vehículos eléctricos, aplanando al máximo la curva de la demanda. Se muestra en la gráfica 18:



Gráfica 18. "Estimación de consumo Invierno 2014"
Fuente REE.[23]

Para este caso, y suponiendo que la punta de demanda llegará a los 48 GW, el máximo aplanamiento de la curva daría una energía total disponible de 1152 GWh para el día de referencia. Con las consideraciones previstas para 2014, el consumo diario de energía se situará en 960 GWh, para una potencia media de 40 GW. Esto dejaría disponible un total de 192 GWh, que si se destinasen íntegramente a cargar vehículos eléctricos (suponiendo baterías de 30 kWh), posibilitaría la recarga de 6,4 millones de vehículos sin necesidad de realizar nuevas inversiones en plantas de generación ni en red de transporte.

Por el contrario, el caso más desfavorable que se puede plantear, es que todos los vehículos se recarguen durante un corto período de tiempo (inferior a 30 minutos) durante la punta de invierno. Se representa en la gráfica 19:

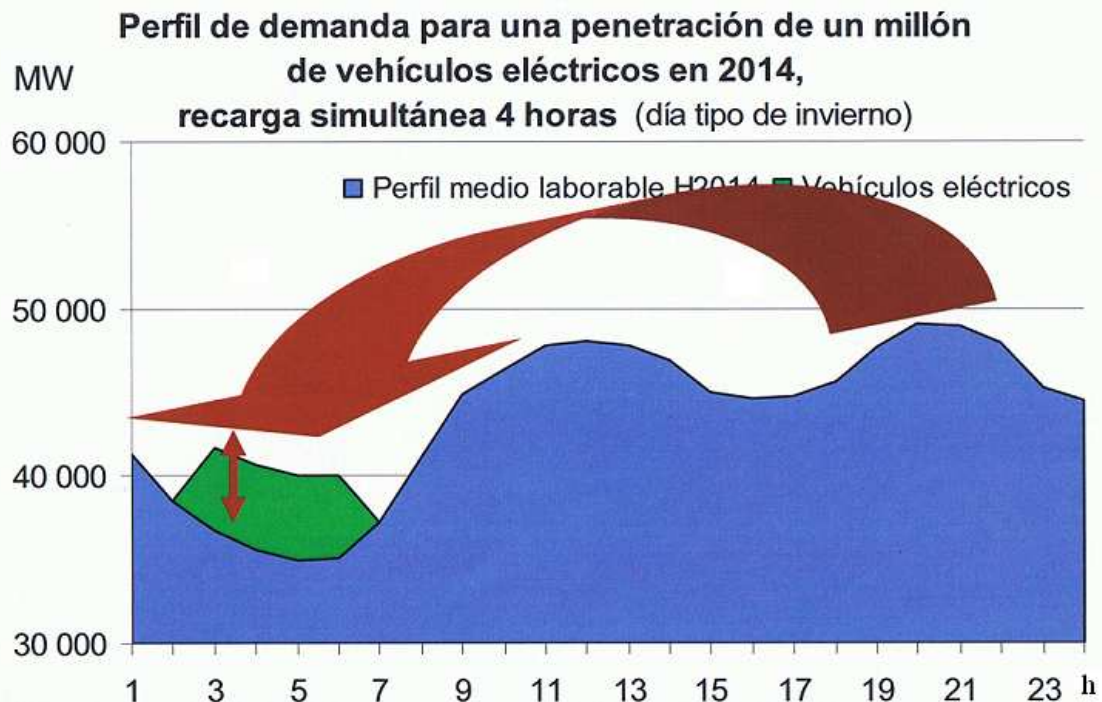


Gráfica 19. "Incremento de la demanda para recarga del 100% de vehículos en punta"

Fuente: REE [23]

Como se observó en la tabla 16, para recargar la una batería de 30 kWh en 20 minutos, se precisa una potencia de 60 kW. Para este supuesto, la demanda adicional exigida al sistema si el 100 % de los vehículos se recargasen simultáneamente, sería de 60.000 MW, siendo este un caso no realista. Espaciando las recargas en el tramo horario entre las 19 y las 22 horas, se provocaría un aumento de la punta de la demanda próximo a los 7.000 MW. Para poder hacer frente a este supuesto, se precisaría de un considerable sobredimensionamiento del sistema, tanto en generación como en las redes del transporte, al no llevarse a cabo una gestión inteligente de las recargas.

El caso intermedio, consiste en llevar a cabo la recarga de los vehículos en horas valle, pero sin espaciarla en el tiempo, realizándola en un período de 4 horas. Se muestra representada en la gráfica 20:

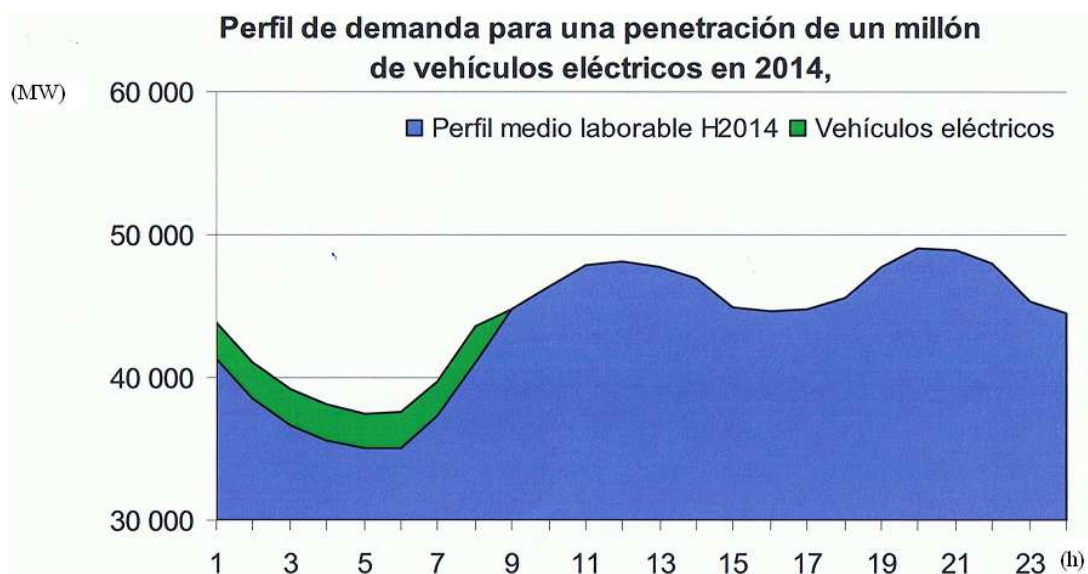


Gráfica 20. "Perfil demanda recarga de 4 horas en valle"

Fuente: REE [23]

En este caso, se produciría un salto brusco de la demanda en torno a 5.000 MW, que aunque posibilitaría una mayor integración de energías renovables para hacer frente a la demanda, aumentando la eficiencia del sistema, generaría también inestabilidades en el sistema, haciendo que la gestión y operación de este se complicasen.

El último supuesto, es el más favorable desde todos los puntos de vista. Sería realizar las recargas en horas valle y por un período prolongado de tiempo no inferior a 8 horas. Se muestra en la gráfica 21:



Gráfica 21. "Perfil de demanda para recarga 8 horas en valle"

Fuente: REE [23]

Desde el punto de vista del sistema eléctrico, posibilitaría una mejor integración de las energías renovables y la no necesidad (hasta cierto punto) de aumentar las infraestructuras existentes de generación y transporte con una gestión inteligente. La operación del sistema se llevaría a cabo sin inestabilidades notorias para integraciones limitadas de vehículos eléctricos. Por otro lado, desde el punto de vista del consumidor final, realizar la recarga del vehículo en las horas donde el precio de la energía es menor supone un importante aliciente en cuanto al ahorro económico en comparación con efectuar las recargas en otros tramos horarios.

V.3 ¿Cómo se conecta y a que coste?

La conexión del vehículo a los enchufes comunes, debe seguir una normalización. Dicho enchufe, debe permitir la bidireccionalidad de la energía, tanto para recargar la batería del coche, y la gestión inteligente como para verter de nuevo la energía a la red en caso de necesidad del sistema o interés económico, y obviamente que sea seguro, contando a tal fin con un sistema antifraude.

En este punto, desde CIRCE (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos), se lleva a cabo la iniciativa para conseguir dicha conexión normalizada. Debe realizarse de tal manera que permita tanto la recarga lenta con potencias domésticas, como la recargas rápidas con rangos de potencias elevadas. Asimismo, la Asociación de Ingenieros del Automóvil (SAE), está próxima a finalizar el estándar con el que se recargarán los vehículos eléctricos. Se denomina “SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler” o “J1772” (Figura 22) [51]. Se basa en un conector redondo de 5 pines que integra un canal de comunicación a través de la línea eléctrica para identificar al vehículo y controlar su carga. Diseñado por Yazaki, permite un suministro de potencia de 16,8 kW vía corriente monofásica (120-240 VAC y 70 A).



Figura 22. “Conexión J1772”

Fuente: Ison21

En cuanto al coste de la recarga, dependerá obviamente de los distintos factores enumerados con anterioridad. A saber, tiempo de recarga, horario en que se efectúa y precio de la energía. En cualquier caso, recargar un vehículo eléctrico no deberá ser más caro que repostar uno con motor térmico.

Desde el punto de vista del consumidor final, el mayor interés se debe centrar en efectuar recargas de larga duración durante las horas en las que el precio de la energía es menor frente a realizar recargas rápidas en otros horarios.

En este punto, desde las comercializadoras de energía se deberán ofrecer el mayor número de facilidades para hacer atractivo y rentable el uso de los vehículos eléctricos frente a los vehículos con motor térmico. Asimismo, desde los organismos oficiales (Gobierno, Ayuntamientos,...) se debe promover su utilización, adoptando medidas que contribuyan a generalizar su uso.

V. TIPOS DE BATERIAS

Un vehículo eléctrico se alimenta de la electricidad almacenada en grandes baterías recargables en su interior, que permite su funcionamiento con cero emisiones en su punto de uso y sin apenas emisiones acústicas, excepto las producidas por los neumáticos. En la última década, se ha producido una profunda mejora de las baterías, reduciendo su coste y permitiendo más ciclos de carga, a la vez que ha aumentado la capacidad de almacenamiento por unidad de peso y volumen, se ha eliminado el efecto memoria y ha aumentado su duración. La mejora de las baterías va a continuar, y un día sí y otro también los medios de comunicación (sobre todo en los de habla inglesa) anuncian nuevas baterías con nuevos materiales que mejoran las prestaciones de las ya existentes, y cada vez más empresas se lanzan a un sector que se prevé con un brillante futuro, porque las baterías sustentan y hacen posible los teléfonos móviles, los ordenadores portátiles y múltiples aparatos de consumo sin cables, como taladradoras, y la electrificación del transporte por carretera hoy es ya más que una mera posibilidad.

La idea básica del funcionamiento de las baterías recargables, consiste en que al aplicar una corriente eléctrica a la batería, los electrones fluyen del polo negativo al positivo, restaurando la energía perdida durante su uso.

El tiempo de recarga de las baterías ha mejorado sustancialmente con el paso de los años, pero sustancialmente depende de cuánta corriente eléctrica puede aportar el cargador a la batería. Unas baterías soportan una mayor tensión de recarga en un menor espacio de tiempo sin sobrecalentarse, mientras que otras precisan una tensión de recarga menor en un espacio de tiempo más prolongado. Cuanto más rápida es la recarga, mayor es el riesgo de sobrecarga de la batería, lo que ocasionaría su pérdida. La clave para evitar esto, es tener la capacidad de desconectarse de la carga una vez que la batería ha alcanzado su carga máxima. Por esto, los cargadores deben incluir un dispositivo que regule la carga de las baterías. Esto es de aplicación tanto para las baterías de los vehículos eléctricos, como para los teléfonos móviles que suelen quedarse toda la noche conectados a la red.

Los vehículos eléctricos, pueden llevar incorporados motores tanto de corriente continua como de corriente alterna, en función de lo cual precisarán de la utilización de rectificadores o bien inversores.

Los motores de corriente continua utilizados en automoción, provienen la mayoría derivados de la industria de elevación (ascensores y montacargas). Tienen un rango de funcionamiento entre 96 y 192 voltios. Tienden a tener una estructura constructiva más simple que los de corriente alterna y soportan mejor las cargas rápidas, por el contrario sufren más el problema del sobrecalentamiento.

Los de corriente alterna, son los trifásicos que se usan en la mayoría de las aplicaciones industriales, por lo que hace mas sencillo encontrar uno con unas características más concretas de tamaño, potencia o tipo. Suelen incluir las funciones de recuperación de la energía, como las explicadas durante el frenado.

En ambos casos, el nexo común es que las baterías deben estar siempre presentes.

Las baterías de los vehículos eléctricos deben tener una alta energía específica (kWh/kg), también alta densidad de energía (kWh/m³) y potencia específica (W/kg) así como una larga vida útil, que permita continuas recargas de corta duración sin perder atributos.

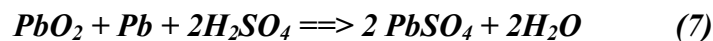
La densidad de energía es una medida de cuanta energía puede suministrar la batería en relación a su peso o su volumen. Depende mayormente de la composición de los componentes de la batería.

Otros factores determinantes a la hora de seleccionar un tipo de batería frente a otro, son sus tiempos de carga/descarga, el precio o su tamaño.

Los diferentes tipos de baterías empleadas en automoción en la actualidad son los siguientes: plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-metal-hidruro, Litio-Ion, polímero de litio y las más modernas, las Zebra o las de zinc-aire.

V.1 Plomo-ácido

Son las más usadas por su bajo coste y facilidad de reciclaje (figura 23). Se emplean principalmente en los vehículos tradicionales con motores de combustión. Su función principal es la de arrancar el motor cuando el vehículo está parado, recibiendo carga del alternador, una vez el vehículo está en marcha. No obstante, en su aplicación para los vehículos eléctricos como batería de suministro principal tiene una importancia limitada, ya que se requieren baterías de gran volumen para conseguir elevadas tensiones y tienen una limitada autonomía por lo que su uso se limita específicamente a vehículos con motores térmicos como fuente de ignición para el encendido, y para el resto se empleen cada vez menos. Por ello su uso en los vehículos eléctricos es escaso, debido a su capacidad limitada, una vida relativamente corta y los períodos de recarga son muy prolongados (entre 10 y 16 horas). Para los vehículos eléctricos, su uso se limita generalmente a proporcionar tensión a los elementos típicos como la radio, luces, elevalunas, etc, para lo cual el vehículo eléctrico debe incorporar un dispositivo rectificador de tensión que permita su uso. La reacción química que tiene lugar en su interior es la siguiente:



Son de aplicación común en dispositivos de tracción eléctricos como los carros usados en los campos de golf o las carretillas elevadoras, así como en los sistemas auxiliares de alimentación de emergencia.

Los valores característicos de densidad energética de este tipo de baterías son 40 Wh/kg, 60-75 Wh/litro, una potencia de 180 W/kg y una período de vida de unos 500 ciclos de recarga, con una eficiencia energética del 82,5 %. Tienen una alta tolerancia a la sobrecarga y una tasa de autodescarga del 5 % mensual. Su valor medio de tensión por celda es de 2 voltios y funcionan en un rango de temperaturas entre -20 y 60 °C.

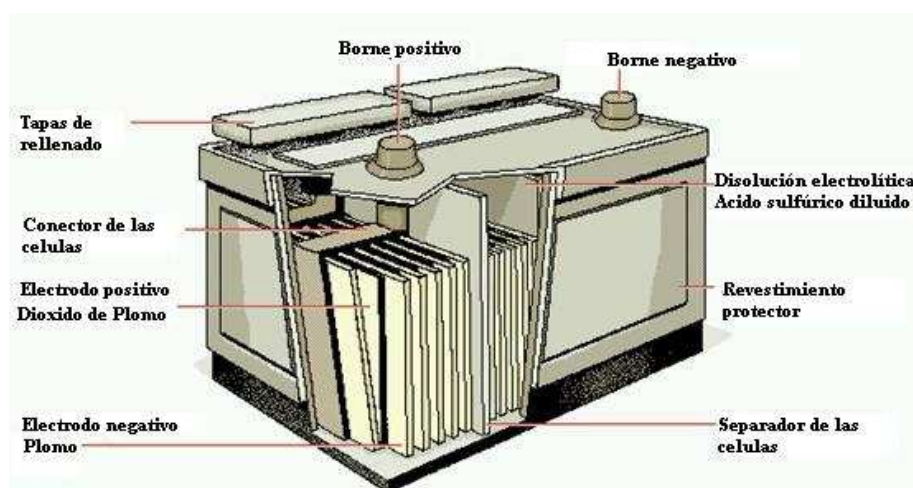


Figura 23. "Batería de plomo-ácido"

Fuente: www.mpoweruk.com [41]

V.2 Níquel-cadmio

Se han usado durante muchos años, teniendo mejores prestaciones que las de plomo-ácido, siendo de las más utilizadas en multitud de aplicaciones. Sin embargo, es una tecnología relativamente costosa, dado que el cadmio es un metal pesado, una Directiva europea reguló su uso desde 2005, por lo que la gestión de los residuos de la fabricación o el reciclaje hacen que se encarezca tanto su fabricación como su utilización. Actualmente, las grandes empresas productoras de baterías, son también líderes en la gestión y reciclaje de los componentes de este tipo de baterías, ya que a nivel de costes, son más rentables de reciclar que otros tipo de baterías.

La batería más simple de este tipo, contiene un ánodo de cadmio, un hidróxido de níquel en el cátodo y un electrolito alcalino. La reacción química que tiene lugar en su interior es la siguiente:



Estas baterías, proporcionan una corriente relativamente elevada a tensiones reducidas. Por contra, un problema muy común en este tipo de baterías es el conocido como “Efecto memoria”. Esto ocurre cuando la batería se recarga continuamente antes de haber perdido más de la mitad de su energía. Se produce entonces la formación de cristales de cadmio en el interior de la batería, que provoca que la batería “asuma” que su nivel de carga cero, sea aquel que tenía en el momento en el que se la ha puesto a recargar. Esto ocurre por que los cristales de cadmio que se han formado, no se disuelven al paso de la corriente de recarga. La batería continua funcionando normalmente, pero su tiempo de utilización se reduce. Este efecto memoria puede resetearse, realizando ciclos de recarga completa, permitiendo que la batería se descargue completamente al menos dos veces al mes.

Sus valores de densidad energética son 60 Wh/kg y 50-150 Wh/litro. Su tolerancia a la sobrecarga es moderada y presentan una tasa de autodescarga del 20% mensual.

El valor de tensión media de las celdas es de 1,25 voltios y su rango de temperaturas de funcionamiento óptimo se sitúa entre -40 y 60 °C.

V.3 Níquel-metal-hidruro

Tras los problemas generados por las baterías recargables de cadmio, los esfuerzos de los diseñadores se centraron en encontrar otros tipos de metales que pudieran proporcionar elevados niveles de energía a menor coste y en tamaños compactos. Se emplea el Níquel-metal-hidruro (NiMH). Con una densidad de energía de unos 70 Wh/kg y 143-300 Wh/litro y con una vida superior a 1000 ciclos de recarga. Son reciclables. Se utilizan actualmente en algunos vehículos híbridos, como el Toyota Prius (figura 24).



Figura 24. "Batería NiMH del Toyota Prius"

Fuente: www.Batteryuniversity.com [43]

El ánodo está formado por aleaciones de níquel con diferentes metales. El cátodo se conforma con un hidróxido de níquel, mientras que el electrolito es una disolución de hidróxido de potasio. Originalmente, es una hibridación entre las baterías de NiCd y NiH₂. No se permitía su uso comercial, porque aunque el hidrógeno tiene unas condiciones anódicas excepcionales, requería estar presurizada, hasta que se descubrieron ciertas aleaciones como las de LiNi₅ o ZrNi₂ que permitían el almacenamiento de átomos de hidrógeno que participan en la reversibilidad de las reacciones químicas. Excepto por el ánodo, son constructivamente idénticas a las de NiCd.

De acuerdo con las especificaciones técnicas, una batería de este tipo tiene una capacidad un 40% superior a una de cadmio de las mismas dimensiones, y permite hasta 10 veces más recargas.

En las baterías más modernas de este tipo, el ánodo está formado por aleaciones de metales diversos, como el vanadio, el titanio, el zirconio el cromo.

Su resistencia a la sobrecarga es relativamente baja y presentan una alta tasa de autodescarga, superior al 30% mensual. El valor de la tensión de las celdas es de 1,25 voltios y su rango de temperatura óptima de funcionamiento está entre -20 y 60 °C.

V.4 Iones litio (Li-ion)

Tienen una energía alrededor de 150 Wh/kg y ciclos muy largos de vida útil. Dan la mayor autonomía y un excelente rendimiento. Este tipo de baterías se caracterizan por tener un mantenimiento reducido, algo que ningún otro químico puede ofrecer por el momento. Carecen de efecto memoria y además de la alta densidad de energía y su peso reducido, la autodescarga que sufren es menor que las baterías de NiCd y NiMH, por debajo del 10% mensual. Por contra, las baterías de Li-Ion requieren un circuito de protección para mantenerse operando de forma segura. De igual manera, lo mismo que hace del litio un elemento aprovechable (alto potencial electroquímico), puede causar graves problemas en la fabricación y uso de estas baterías. Muchos de los componentes inorgánicos de las baterías pueden ser atacados por el litio, y si entrase en contacto con el agua, produciría hidrógeno, dando lugar a un incremento de presión en la batería y su posible ignición. En caso de incendio de productos de litio, y dado que la mayor parte de los equipos extintores utilizan agentes basados en el agua, han de emplearse equipos especiales de la clase D (polvo químico).

El litio tiene una temperatura de fusión relativamente baja para ser un metal (180° C). Si se funde, entraría en contacto con el cátodo, provocando violentas reacciones químicas.

La carga debe realizarse bajo estrictos estándares. Asimismo, están sujetas al deterioro provocado por el paso del tiempo, aún cuando no haya sido usada. Sin embargo, su precio es comparativamente muy elevado. Las baterías de ión-litio mejoran las prestaciones y la autonomía de los vehículos eléctricos respecto a las tecnologías Ni-Cd, Plomo-ácido y NiMH, pero son costosas, se recalientan y, sobre todo, existe un debate no resuelto sobre si hay recursos suficientes de litio para fabricar millones de nuevos automóviles. El precio de la tonelada de litio pasó de costar 350 dólares en 2003 a 3.000 dólares en 2008 [56].

El litio es el más liviano de todos los metales, y tiene el mayor potencial electroquímico y representa el mayor contenedor de energía. Usando litio metálico como electrodo negativo las baterías recargables son capaces de proveer alto voltaje y excelente capacidad, obteniendo así una alta densidad de energía.

Tras largas investigaciones sobre las baterías de litio durante la década del ochenta, se descubrió que el ciclaje de carga altera el electrodo de litio reduciendo de este modo su estabilidad térmica y provocando una potencial fuga térmica. Si esto se produce, la temperatura de la celda rápidamente se aproxima al punto de fusión del litio, lo que desencadena una violenta reacción.

A causa de la inestabilidad inherente al Metal-Litio, especialmente durante su carga, las investigaciones se han orientado hacia la búsqueda de una batería de Litio no metálico usando iones de litio como Dióxido de litio-cobalto (LiCoO_2), litio-manganeso e incluso con fluor. Aunque levemente menor en densidad de energía que el metal-Litio, el Li-Ion es seguro, provisto con ciertas precauciones para la carga y la descarga.

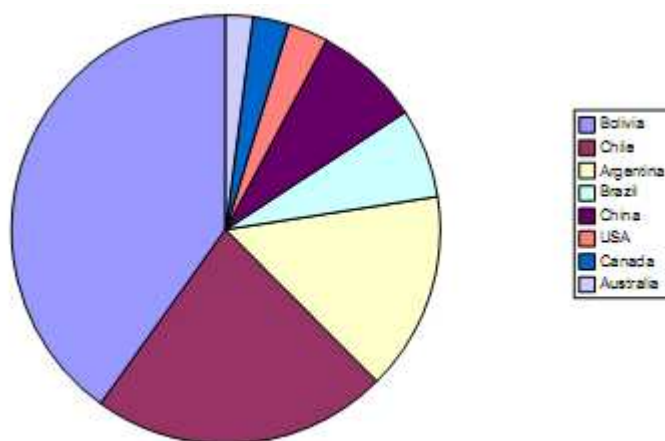
A pesar de ser las de uso más extendido para todo tipo de aplicaciones, el hecho de que la mayor parte de las reservas a nivel mundial estén localizadas en Suramérica, más concretamente en el altiplano andino, entre Chile y Bolivia (yacimientos de Uyini), como el hecho de que su cantidad sea muy inferior a las reservas estimadas de otros elementos, como el zinc y el níquel, empleados en otras tecnologías, darán como resultado que su uso en el tiempo sea menor y por lo tanto, el desarrollo mayor se llevará a cabo sobre otro tipo de baterías cuyos elementos constructivos sean más abundantes.

Pero no todo el litio es utilizable para la fabricación de las baterías de los vehículos eléctricos. Hay de dos clases de depósitos que producen litio:

- Uno procede de un mineral denominado espodumena, de sílice dura y compuesta de aluminio
- Otro formado a partir de cristales en lagos salados (Lago Brine)

Solo el litio procedente de los lagos salados puede emplearse en baterías de automoción. El procedente de espodumena, se destina a aplicaciones de tipo cerámico y cristal. Las reservas totales a nivel mundial del mineral del que se extrae el litio (Li_2CO_3), se estiman en 58 millones de toneladas, pero las “reservas base” son apenas de 6 millones de toneladas (Por reserva base, se entiende la cantidad de un mineral que física y químicamente puede ser obtenido siguiendo criterios de extracción y producción en un momento concreto).

La gráfica 22 muestra el estado de las reservas mundiales de litio a diciembre de 2005.



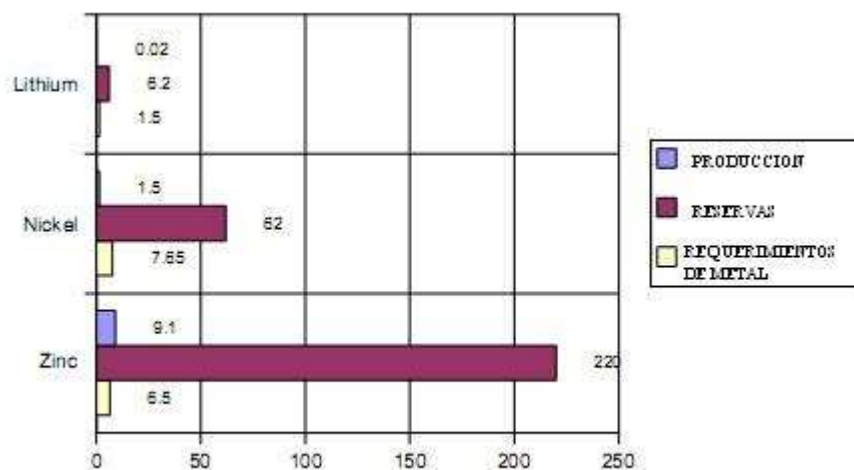
Gráfica 22. “Reparto de las reservas mundiales de litio en diciembre 2005”

Fuente: Meridian International Research [55]

Según un estudio realizado por William Tahil, Director de Investigación de Meridian International, “el parque automovilístico mundial cuenta con 900 millones de vehículos. Si se sustituyeran todos los vehículos con motores térmicos por vehículos eléctricos con baterías de 10 kWh a base de litio, tendrían que emplearse el 25 % de las

reservas totales de litio a nivel mundial”. Dado que las baterías que se prevén emplear para electrificar los automóviles superan los 20 kWh para hacerlos eficientes en términos de autonomía para su uso, el consumo de litio se dispararía por encima del 50 % de las reservas, llegando a unos niveles ilógicos desde el punto de vista de la sostenibilidad. “La producción mundial del mineral de litio, ronda las 80.000 toneladas, lo que da lugar a una cantidad equivalente de metal de 15.000 toneladas. En lo referente a la construcción de las baterías, se requieren 1,5 kg de Li_2CO_3 . Para fabricar 60 millones de vehículos eléctricos con un motor de 5 kWh, se requerirían 420.000 toneladas de Li_2CO_3 por año, lo que supone 6 veces la actual producción”. Según estos datos, la demanda anual estimada para hacer frente a la previsible electrificación del transporte, superará ampliamente la capacidad de producción.

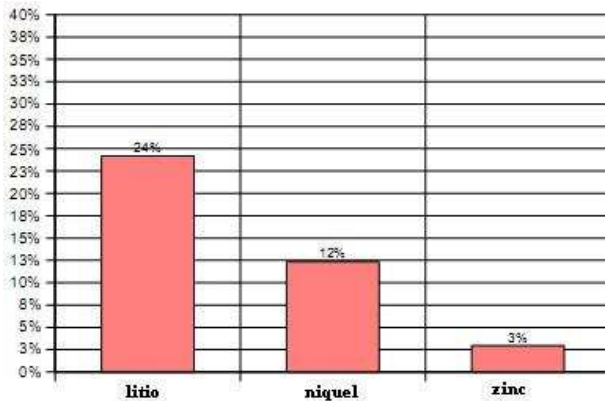
El mismo estudio, por estos motivos, analiza la comparación del empleo del litio, con otras alternativas teóricamente mas ventajosas, como son las baterías Zebra y las baterías Zinc-Aire o pila de combustible. En la gráfica 23 se muestra la comparativa entre la producción, reservas y requerimientos de metal para la fabricación de baterías para los 900 millones de vehículos estimados (Valores en millones de toneladas).



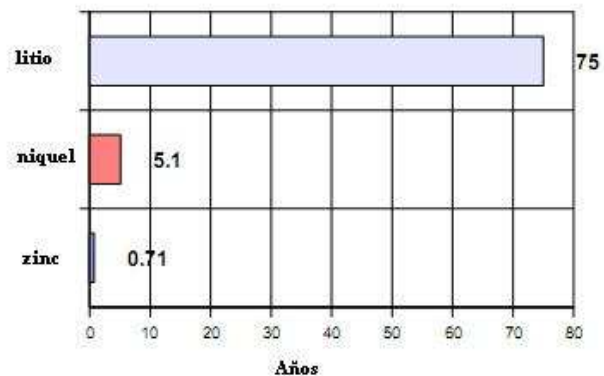
Gráfica 23. “Valores comparativos de producción, reservas y requerimientos de metal para electrificar 900 millones de vehículos con baterías de 10 kWh”

Fuente: Meridian International Research [55]

En las gráficas 24 y 25 se muestra, para la teórica fabricación de ese número de baterías, cual sería el porcentaje de las reservas globales a emplear y el tiempo estimado en años de fabricación de las mismas respectivamente para cada metal con las tecnologías disponibles en la actualidad para la extracción, procesado y manufacturado:



Gráfica 24. "Porcentaje de las reservas de metal a destinar para electrificar 900 millones de vehículos"
Fuente: Meridian International Research



Gráfica 25. "Años necesarios para fabricar baterías para 900 millones de vehículos"
Fuente: Meridian International Research

El elevado porcentaje sobre el total del requerimiento de litio, así como que se precisen 75 años al ritmo actual de fabricación del metal para conseguir la total electrificación de los automóviles, hace que el interés se derive hacia las otras tecnologías, más asequibles, tecnológica y materialmente viables, así como económicas, como son las baterías Zebra y las tecnologías de zinc-aire.

El precio estimado de fabricación para una batería de litio, es de 240 €/kWh, por lo que para una batería de tipo estándar de 30 kWh, su precio supondría 7200 euros.

Con los mismos estándares, la misma batería Zebra (a 100€/kWh), costaría 3000 euros, mientras que una basada en la tecnología zinc-aire (a 70 €/kWh), vendría a costar 2100 euros (Datos del estudio realizado por Meridian International [55]).

V.5 Polímero de litio

Este tipo de baterías se diferencia del resto de sistemas en el tipo de electrolito utilizado. El diseño original, que data de los años 70, utilizaba un electrolito seco de un polímero de litio sólido. El electrolito se asemeja a un plástico, que no conduce la electricidad, pero sí permite el intercambio de iones. Este polímero seco reemplaza al típico separador de celdas en las baterías que se encuentra bañado en los electrolitos ácidos tradicionales.

El diseño de las baterías de polímero de litio está muy simplificado. El hecho de que el electrolito sea similar a un plástico posibilita que estas baterías puedan adoptar infinidad de formas. No necesitan de un recubrimiento metálico como las de litio y son más seguras que éstas. Las celdas internas son de un grosor de apenas 1 milímetro. Por contra, presentan una conductividad interna relativamente baja, que únicamente aumenta conforme crece la temperatura de funcionamiento, lo que condiciona mucho su uso en aplicaciones portátiles pero que con el debido aislamiento sí es de aplicación en los vehículos eléctricos. Para solventar este punto, se les añade un electrolito gelificado en los separadores de las celdas.

A pesar de sus mejores prestaciones y bajos costes de producción, no ha conseguido la penetración prevista en el mercado de las baterías. El hecho de que sus prestaciones sean similares, e incluso inferiores, a las de Ion-litio, desplaza este tipo de baterías a aplicaciones específicas de geometrías extremadamente finas, específicas para equipos ultraligeros.

Sus valores de densidad de energía se sitúan en 200 Wh/kg y 300 Wh/litro, con una potencia superior a 3000 W/kg.

V.6 Baterías Zebra

Su composición química es NaNiCl_2 , esto es, sal común y níquel en los electrodos, junto con un electrolito de componente cerámico y es una de las baterías recargables que más prometen por sus condiciones. Tienen una alta densidad energética, cinco veces superior a las de plomo-ácido, pero operan en un rango de temperaturas que va de 270°C a 350°C , lo que requiere un aislamiento apropiado. La capacidad nominal son 38 Ah y en términos de eficiencia próxima al 100% según el fabricante [57]. Un aspecto positivo es su tolerancia a los cortocircuitos, ya que en caso de producirse uno en una celda, el resto de la batería no se ve comprometido. Se fabrican con una capacidad mínima de 20 kWh. Son apropiadas en autobuses, coches y todo tipo de vehículos eléctricos. La fabricación de este tipo de baterías se realiza exclusivamente por la empresa Mes-Dea, en Stabio, en el sur del cantón del Tesino (Suiza), donde se lleva a cabo su producción en serie. Carecen prácticamente de mantenimiento, gozando de una gran fiabilidad y duración (figura 25).

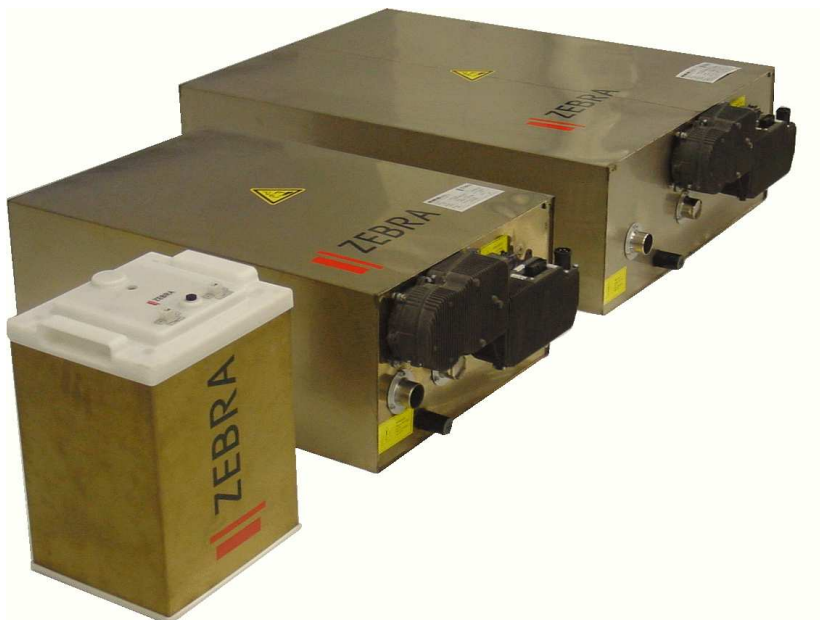


Figura 25. "Distintos tipos de baterías Zebra"

Fuente: Mes-Dea

La reacción química que tiene lugar en su interior es la siguiente:



Evidentemente y dado que la batería es recargable, la reacción es completamente reversible. De izquierda a derecha, ocurre durante la carga, mientras que de derecha a izquierda, tiene lugar durante su descarga o funcionamiento.

Una aproximación esquemática de su composición y funcionamiento, se muestran en las figuras 26 y 27.

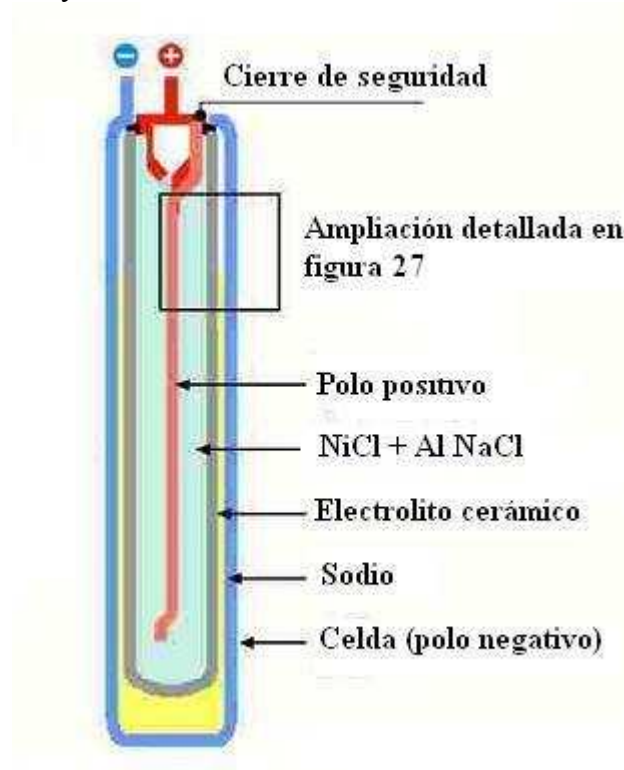


Figura 26. "Esquema de celda en batería Zebra"
Fuente: Cebi e-car

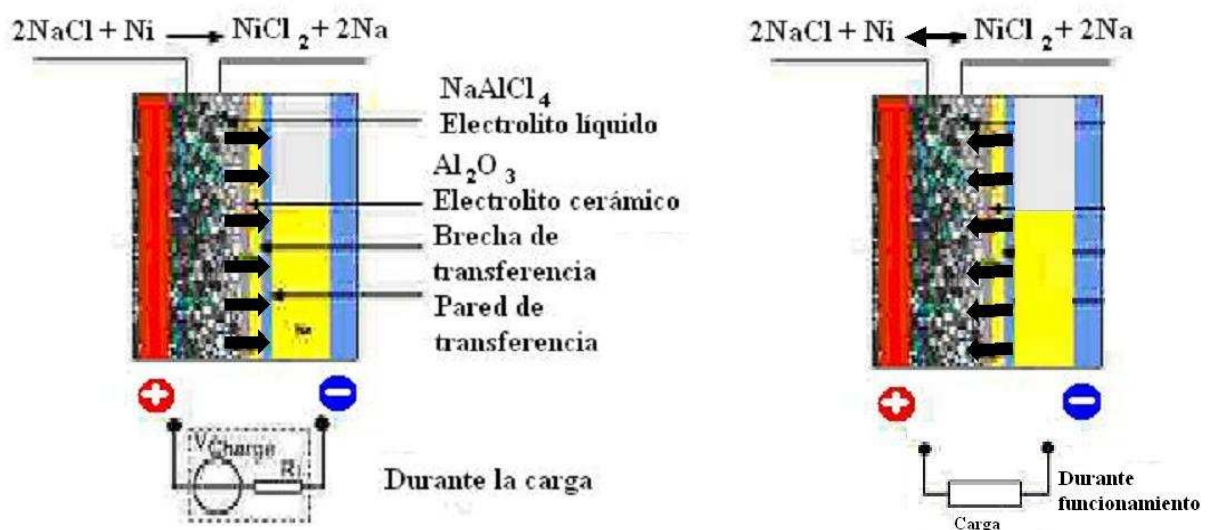


Figura 27. "Funcionamiento durante la carga y la descarga de una batería Zebra"
Fuente: Cebi e-car

Durante la carga, no se produce ninguna reacción química que genere residuos de ningún tipo, por lo que la eficiencia teórica sería del 100%. Cada celda está compuesta por un recipiente de acero, en la que los electrodos están separados por una pared cerámica, que es conductiva para los iones de sodio, pero aislante para los electrones. Además, la reacción en la batería solo puede tener lugar si fuera de la celda los flujos de corriente de electrones son iguales a los de los iones sodio.

El cátodo sólido y poroso de NiCl_2 se encuentra bañado en una solución salina conductiva de NaClAl_4 que proporciona la conductividad necesaria en la brecha de transferencia. Un material metálico-cerámico se encarga del sellado de la batería, por lo que su mantenimiento es nulo.

La tensión de apertura de circuito de las baterías, (OCV: open circuit voltage, es la diferencia de tensión entre los terminales de una celda cuando el circuito esta abierto, por ejemplo cuando está descargada) se sitúa en 2,58 V/celda

Entre sus inconvenientes, además de la temperatura de trabajo, están las pérdidas térmicas cuando no se usa la batería. Necesita de un precalentamiento para que la batería alcance su temperatura óptima de funcionamiento, que puede llegar a las 24 horas desde una temperatura fría, y consume un 14% de su propia energía para mantener la temperatura cuando no está en uso, por lo que precisa de un sistema de gestión térmica..

El automóvil eléctrico Think City va equipado con baterías Zebra Na-NiCl de 28,3kWh.

V.7 Baterías de zinc-aire

Es probable que el futuro del coche eléctrico pase por el desarrollo de baterías más potentes de zinc-aire, que sustituyan a las de iones de litio, ya que almacenan tres veces más energía que estas y coexistan con las Zebra. Se muestra su composición en la figura 28.

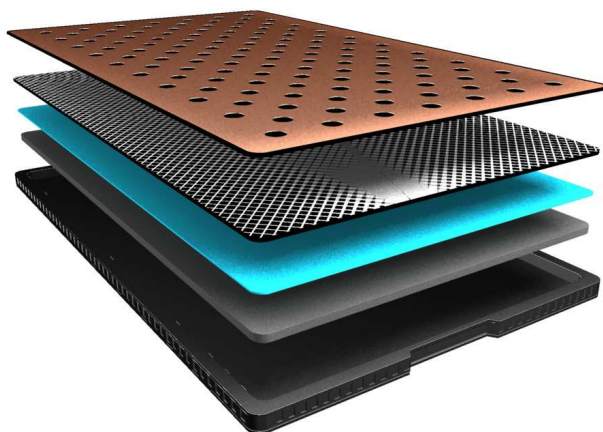


Figura 28. "Composición de una batería de Zinc-Aire"
Fuente: ReVolt Technology [34]

Hasta la fecha, las baterías de zinc-aire se han estado empleando como baterías no recargables en aparatos de uso personal como los audífonos internos. Su principal inconveniente radica precisamente en el hecho de no ser recargables como tal, sino que hay que extraer el zinc fuera de la batería y cargarlo aparte o bien cambiar los electrodos [33]. Aunque este procedimiento es sencillo, rápido y económico, el vehículo eléctrico precisaría equiparse de un sistema de filtrado e inyección de aire para absorber el CO_2 , que se transformaría en una serie de carbonatos inocuos, en conjunción con un sistema de monitorización a bordo.

Con una densidad energética de 370 Wh/kilogramo, tienen como principal ventaja la posibilidad de realizar un número ilimitado de recargas o reciclajes sin que las propiedades químicas ni las cualidades físicas del zinc se vean comprometidas.

Las baterías de este tipo tienen la mayor energía específica y el menor coste de producción de todas cuantas se pueden emplear en la electrificación del transporte y la única que en términos de disponibilidad podría hacerlo con todos los vehículos simultáneamente. Yendo un paso más allá, debido a su reducido peso, podrían incluso utilizarse para los vehículos de transporte de gran tonelaje, ya que las baterías tendrían que ser de un tamaño diez veces superior a la de los coches.

El hecho de que estas baterías tengan un peso tan reducido, radica en que uno de sus componentes es externo a ella misma: el oxígeno del aire.

Un problema común a todos los tipos de baterías se plantea cuando la demanda de energía por kilogramo es mayor. Esto es, cuando el vehículo acelera, sube una pendiente o circula a alta velocidad. Para solucionar este problema se emplean los ultra

condensadores, que actúan de un modo similar a como lo hace el óxido nitroso en los vehículos con motor térmico y preparación deportiva, aplicando un aumento súbito de energía durante los momentos puntuales en los que la demanda es máxima, para evitar pérdidas de eficacia en la batería. Esto se denomina sistema híbrido de baterías [37-38].

Lo que hace diferente también este tipo de baterías del resto, es que en lugar de tener un ánodo fijo metálico (Zinc) separado del cátodo por el electrolito de KOH (Hidróxido de potasio), tiene una gran cantidad de pequeñas partículas de zinc disueltas en el electrolito, que son bombeadas continuamente a través de una plancha metálica, que es el ánodo. A medida que las partículas circulan a través de la plancha, reaccionan con el electrolito, produciendo electricidad hasta que se consumen. Una vez que todas las partículas disueltas han reaccionado, la batería se descarga.

Para proceder a la recarga, en una estación de servicio se insertaría una manguera en el depósito del electrolito, retirando todo (el residuo es óxido de zinc que se recicla) y añadiendo nuevo electrolito con las correspondientes partículas de zinc en suspensión. De ese modo, la recarga que eléctricamente a nivel doméstico llevaría ocho horas, se puede realizar mecánicamente en apenas quince minutos, de igual modo a como se viene haciendo actualmente en las gasolineras.

Y desde el punto de vista de la seguridad, son las únicas que en caso de accidente, no provocarían ningún tipo de explosión o incendio, ya que la propia reacción de la batería se interrumpiría en caso de cortocircuito. No ocurre así con las de litio o con las que contienen hidrógeno. Y como para que la electricidad se produzca en la batería es preciso que el aire fluya a su través, esto hace que no se precise de un sistema adicional de refrigeración para la batería.

Desde el punto de vista medioambiental, durante su operativa se reduce el CO₂ del ambiente, que queda atrapado en el sistema de filtrado y convertido a carbonatos inoocuos, pero además, se ha conseguido, a través del proyecto europeo *Solzinc* que se lleva a cabo en Israel, producir el zinc a partir del óxido de zinc, utilizando un reactor solar termal sin emisiones de CO₂ (figura 29).

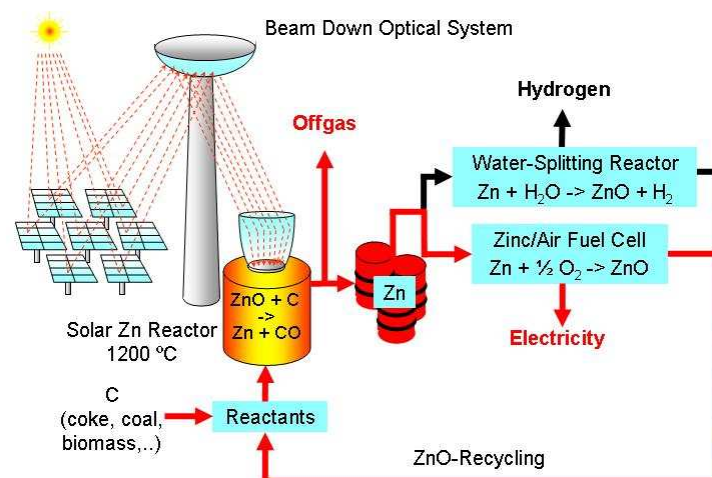


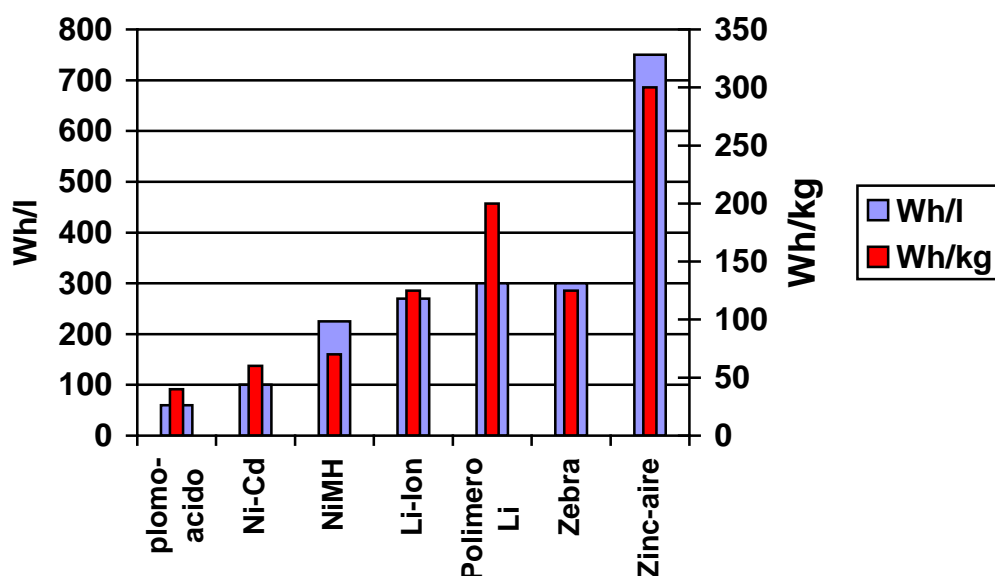
Figura 29. "Reactor solar para producción de zinc"
Fuente: PSI Solzinc [61]

En la tabla 16 y la gráfica 26, se muestran a modo de resumen los valores más característicos de cada tipología constructiva de batería recargable.

Tipo de baterías recargables	Energía (Wh/kg)	Energía/volumen (Wh/litro)	Potencia/Peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética-%
Zinc-aire	150-400	750	nd	1.000	99,0
Zebra (NaNiCl)	125	300	nd	1.000	92,5
Polímero litio	200	300	>3.000	1.000	90,0
Iones de litio	125	270	1.800	1.000	90,0
Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)	70	140-300	250-1.000	1.350	70,0
Níquel Cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1.350	72,5
Plomo ácido	40	60-75	180	500	82,5

Tabla 16. "Resumen comparativo de características de baterías recargables"

Fuente: Green car batteries



Gráfica 26. "Comparativa de densidades de energía de las baterías"

Fuente: Green car batteries

VI. APLICACIONES PRACTICAS EN LA ACTUALIDAD

VI.1 El proyecto MOVELE

Es la aplicación a nivel nacional. El un proyecto piloto de MOVilidad ELEctrica, que nace en el seno del Plan de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética (2008-2011), y cuyo objetivo es demostrar la viabilidad técnica y energética de la introducción de vehículos eléctricos en el parque automovilístico nacional [24].

Dado que el transporte es el sector mas consumidor de energía y que según estudios realizados por el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético) supone un 36,2% del total nacional, del que los turismos representan aproximadamente un 15%, realizar su electrificación supone un gran reto cuyo objetivo perseguido no es otro que reducir por un lado el consumo de los derivados petrolíferos (más del 98% de las fuentes de energía empleadas en el transporte proceden del petróleo) y por otro las emisiones de los gases de efecto invernadero, que actualmente suponen la cuarta parte del total de las emisiones, con mayor incidencia en el sector urbano.

Tiene por tanto el reto de conseguir una mejora conjunta de la eficiencia energética del transporte unida a la del sistema eléctrico, mediante la incorporación progresiva de mayor cantidad de fuentes renovables, que mediante la gestión eficiente permitan disminuir las diferencias existentes entre las puntas y valles de la curva de consumo.

La entidad, dependiente del Ministerio de Industria, encargada de su gestión y desarrollo, es el IDAE y a fin de lograr la introducción de 2000 vehículos eléctricos dentro de los entornos urbanos, se han firmado en fecha 24 de febrero de 2009, convenios de actuación con los ayuntamientos de Madrid, Sevilla y Barcelona para instalar un total de 546 puntos de recarga y al menos 2000 vehículos en circulación. Aunque principalmente se orienta hacia las flotas de vehículos, podrán adherirse a las ayudas todas las personas que adquieran un vehículo de los incluidos en el catálogo, con independencia de su tipo.

A la finalización del período inicialmente fijado en 2010, se llevará a cabo una labor de recogida de resultados en condiciones reales de uso, que permitan proponer modificaciones normativas de cara a facilitar y promocionar el desarrollo de esta alternativa de movilidad, y que ello permita a España, que ya es referente a nivel mundial en uso de energía renovable, posicionarse como un lugar preferente a la hora de la introducción de los vehículos eléctricos. Para ello, la implicación de todos los agentes comprometidos en este desafío, fabricantes, usuarios, administraciones locales, regionales y estatales, debe ser máxima en todos los sentidos.

Los objetivos en cifras de estos dos años de implantación del proyecto MOVELE se muestran en la tabla 17:

Número de vehículos	2.000
Consumo de petróleo evitado	4.282 tep/año (4,7 millones l/año)
Consumo de energía	1.510 tep/año (7.000 MWh/año)
Ahorro energético	2.772 tep/año
Emisiones evitadas	4.471 tCO ₂ /año (411 g/kWh)

Tabla 17. "Objetivos del plan MOVELE"

Fuente: IDAE

Las cantidades económicas de las que está dotado del proyecto son las mostradas en la tabla 18:

Ayudas directas a la adquisición de vehículos	8 M €
Ayudas a la creación de infraestructuras de recarga	1,5 M €
Asistencia técnica y análisis	0,5 M €
Total dotación	10 M €

Tabla 18. "Dotaciones económicas del plan MOVELE"

Fuente: IDAE

Las ayudas directas a la adquisición de los vehículos, oscilan entre el 15 y el 20 % de su P.V.P antes de impuestos y vienen determinadas por una curva de eficiencia energética media, definida por una ecuación en la que las variables presentes son la autonomía y la potencia de los vehículos. Para tabular dicha tabla y los coeficientes, con anterioridad los fabricantes han tenido que registrar sus vehículos con sus correspondientes especificaciones dentro de un catálogo adscrito al propio proyecto del IDAE. Se realiza atendiendo a las siguientes características y relaciones:

$$A = a \cdot P^{-b} \quad (10)$$

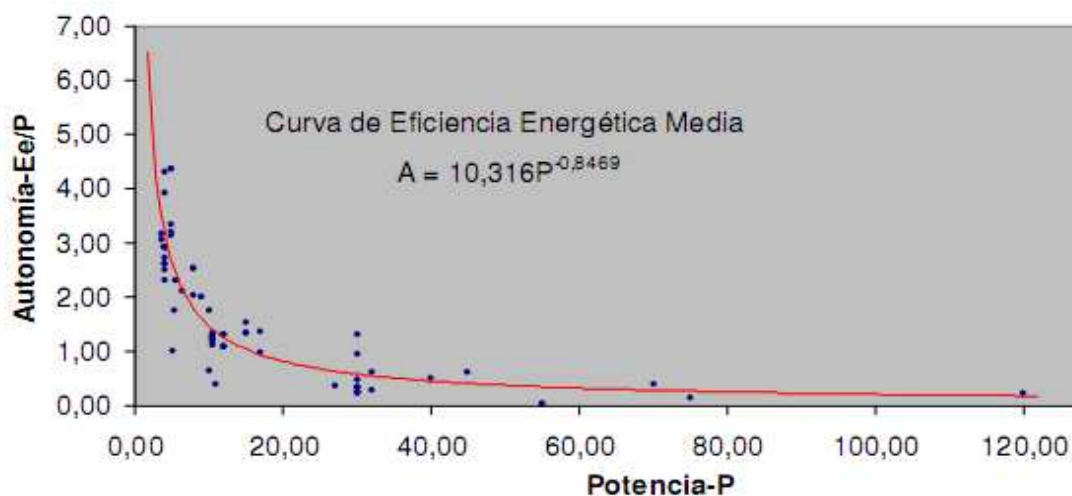
$$A = E_e / P \quad (11)$$

$$E_e = E / M \quad (12)$$

Donde el significado de cada variable es:

A	Autonomía del vehículo en km
a	coeficiente de valor 10,316
P	Potencia nominal continua máxima o efectiva del vehículo en kW
b	coeficiente de valor 0,8469
Ee	Energía específica acumulada en la batería en Wh/kg
E	Energía acumulada en la batería en Wh
M	Masa del vehículo en orden de marcha en kg

Siguiendo el proceso de cálculo descrito con las fórmulas 10, 11 y 12, se obtiene la siguiente curva (Gráfica 29):



Gráfica 29. "Curva de eficiencia energética catálogo plan MOVELE"

Fuente: IDAE

Tomando como referencia el citado catálogo del IDAE, los vehículos cuyos valores de referencia queden por encima de la curva, tendrán una bonificación del 20%, mientras que los que queden por debajo, será del 15%.

Los coeficientes de referencia a y b, podrán ser actualizados, a medida que se incorporen nuevos vehículos a la oferta del catálogo del IDAE. Este procedimiento pretende incentivar la compra de aquellos vehículos con mayores prestaciones en cuanto a su potencia, y lógicamente, con mayores cantidades de energía acumulada en las baterías, con la finalidad de tener la mayor eficiencia energética posible en su uso.

Algunos de los vehículos eléctricos puros de la categoría turismos, incluidos en el catálogo a julio de 2009 son los siguientes (Tabla 19):








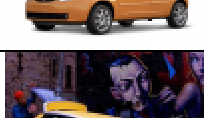
	Marca/Modelo	Potencia kW/CV	Disponibilidad	Cuantía ayuda €
	Chana Benni	20/27,20	04/09/2009	1.830
	Micro Veet (Fiat) Panda	30/40,80	01/06/2009	7.000
	Micro Veet (Fiat) 500	80/108,80	01/06/2009	7.000
	Mitsubishi i- Miev	47/63,92	01/08/2010	N/D
	Smart ED	30/40,80	01/07/2010	N/D
	Subaru Estella	47/63,92	02/09/2010	N/D
	Tata Indica Vista	55/74,80	15/08/2010	5.172
	Think City	30/40,80	01/05/2009	6.300

Tabla 19. "Catálogo de vehículos del plan MOVELE"

Fuente: IDAE

VI.2 El Proyecto REVE

El proyecto REVE (Regulación Eólica con Vehículos Eléctricos), enmarcado dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, centra sus objetivos en la realización de un estudio que evalúe de forma detallada los retos técnicos clave y los aspectos económicos más importantes, para la creación de la infraestructura de red que sería necesaria implementar, para que los coches eléctricos puedan actuar como almacenes energéticos de la red eléctrica mientras no estén circulando y por lo tanto contribuyan a la mejora del factor de carga del sistema eléctrico en su conjunto [45]. Tomará como punto de partida, por lo tanto, el almacenamiento de electricidad en períodos de baja demanda, donde en la actualidad existen potenciales recortes de bajar la producción de los parques eólicos, con el consiguiente desaprovechamiento de la energía.

Realizará también un estudio sobre la repercusión de la implantación del vehículo eléctrico en el sistema energético evaluando diferentes escenarios, con y sin sistemas de almacenamiento en vehículos, y también en función de la cantidad de coches eléctricos utilizados, haciendo un modelado de la red de baja tensión, y su conexión a la red eléctrica, y realizando un seguimiento de la evolución de la tecnología de las baterías, el coche eléctrico, las estaciones de reemplazo y los puntos de recarga y a partir de esto definir los requerimientos técnicos para la conexión de esta nueva tecnología a la red de distribución atendiendo a la definición de las protecciones, y a los parámetros requeridos para su integración en los centros de control.

Por último, se llevará a cabo un estudio socioeconómico en el que se detalle un nuevo modelo económico en el que la adquisición del vehículo y las baterías se haga por separado. En este supuesto, los consumidores comprarán su vehículo y suscribirán un abono para su provisión de energía, que incluirá la utilización de la batería facturada por kilómetro recorrido, siendo esto análogo a las tarifas planas de telefonía móvil.

El Proyecto REVE está coordinado por la Asociación Empresarial Eólica (AEE) y para ello se apoya en un comité de seguimiento donde se incluyen Acciona, REE y el IDAE entre otros. Además, CENER, GAIA, ENDESA y CIRCE, tienen también participación activa en el proyecto.

VI.3 El proyecto BETTER PLACE

El concepto de Better Place nace en octubre de 2007, y parte de la visión de un futuro medioambientalmente sostenible del emprendedor Shai Agassi (Ramat-Gan, Israel, 1968). Su interés e implicación en la promoción de las alternativas verdes de transporte y en combatir el cambio climático le hacen poner en marcha este ambicioso proyecto que hoy día ya es una realidad en todos los aspectos.

En su país de origen, con las particularidades que lo rodean en el ámbito del conflicto geopolítico y social que viene sufriendo desde largo tiempo, el tener que depender para el suministro energético de petróleo de países con los que mantienen tensas, por no decir nulas, relaciones diplomáticas cuando menos comerciales, y con una climatología benévola en cuanto a horas de sol, le hacían un perfecto lugar donde iniciar el desarrollo de su ambicioso proyecto.

Por ello, en Israel se desarrolla la primera implantación masiva de las infraestructuras necesarias para la total utilización de los vehículos eléctricos, siendo las ciudades de Tel Aviv, Haifa, Kefar Save, Holon y Jerusalem las primeras en contar con una amplia red de puntos de recarga distribuidos por diferentes zonas de aparcamientos.

La apuesta de Better Place por el vehículo eléctrico, se centra en el cambio de baterías como forma de recarga. Para ello, proyecta la construcción de electrolineras, donde de modo análogo a como se reposta combustible en una estación de servicio, y en un tiempo similar, se lleva a cabo el reemplazamiento de la batería consumida por otra recargada (figura 30).

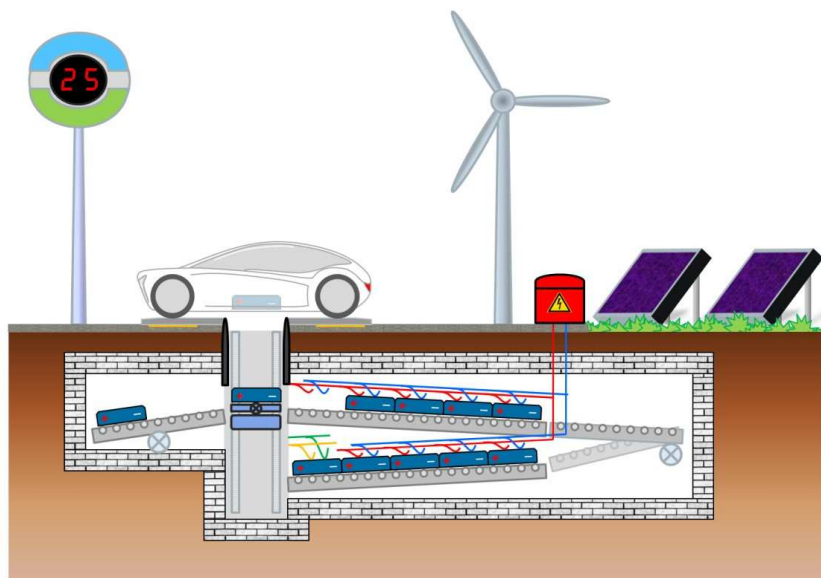


Figura 30. "Esquema de estación de cambio de baterías"

Fuente: Better Place [40]

Dinamarca es otro país que ha apostado firmemente por el cambio de las energías fósiles por las renovables, basándose en las recargas mediante cambio de batería, y su ambicioso objetivo es conseguir para 2025 que la ciudad de Copenhague, sea la primera del mundo en ser completamente independiente de los combustibles fósiles.

Los puntos de recarga son sólo una pequeña parte del entramado implementado, ya que además, los puntos de intercambio de baterías para los desplazamientos entre las ciudades y los centros de control que planifican la operatividad del sistema eléctrico en los que ya se establece comunicación bidireccional con los propios vehículos acoplados al sistema son una absoluta realidad.

En países como Israel y Dinamarca, donde las principales ciudades están separadas entre sí no más de 150 kilómetros, dadas las autonomías disponibles es una opción perfectamente plausible.

VII. CONCLUSIONES

A la vista de los datos obtenidos y los factores analizados en el desarrollo de este documento, se puede concluir que el objetivo planteado en el apartado I se ha resuelto satisfactoriamente.

Se pretendía “identificar, analizar y evaluar los aspectos más relevantes para la incorporación del vehículo eléctrico y su influencia en el sistema eléctrico”.

Los factores identificados como más relevantes en este apartado, son por un lado las baterías recargables que permiten almacenar la energía, por otro lado los factores que afectan a la recarga de dichas baterías y por último, la gestión del sistema eléctrico

Del análisis y evaluación de dichos factores, resulta que en cuanto a las baterías, la evolución tecnológica y su desarrollo en lo que a materiales, costes y capacidades de almacenamiento hacen que aumenten su autonomía, lo que facilitará que el ciudadano medio, que será el usuario tipo de los vehículos eléctricos, supere las posibles reticencias que inicialmente plantea el uso de un vehículo eléctrico puro por su limitada autonomía y superior coste de adquisición. Es seguro que habrá un largo período de transición desde los vehículos con motores térmicos hasta los eléctricos puros, en los que los distintos tipos de híbridos eléctricos extenderán su uso.

En cuanto a la recarga de las baterías, se han mostrado las dos opciones planteadas en la actualidad: recarga por conexión a red y cambio de batería. En lo que respecta a los factores que afectan directamente a la recarga de las baterías por conexión a red, que es el sistema que inicialmente se adoptará a nivel nacional, se han analizado los diferentes puntos de interés. El tiempo de la recarga, cuándo y donde se lleva a cabo se presentan como los focos de mayor interés en lo que a términos de gestión se refiere. Tanto desde el punto de vista del usuario como del gestor del sistema eléctrico, es preferible llevar a cabo las recargas en periodos largos de tiempo y en horas valle.

Por último, en lo que a la operación del sistema se refiere, el realizar las recargas empleando una gestión inteligente, permitiría la integración progresiva de vehículos eléctricos en el sistema sin necesidad de realizar modificaciones a nivel generación y transporte. Además, posibilitaría una mejor integración de las energías renovables, cuyas producciones energéticas se destinarían, entre otras aplicaciones, a la recarga de los vehículos eléctricos, consiguiendo por un lado aplanar la curva de carga del sistema eléctrico y por otro lado, reducir las emisiones de CO₂ del mix energético.

La evaluación de todos los factores identificados y datos analizados, permiten concluir que a día de hoy, y con 2016 como horizonte, el sistema eléctrico nacional se encuentra facultado para asumir la incorporación progresiva de los vehículos eléctricos sin realizar cambios significativos en cuanto a los sistemas de generación y las redes de transporte.

La concienciación social debe asumir que los tiempos de recarga deben ser prolongados y principalmente en horarios nocturnos y se deberá contar con sistemas de comunicación inteligentes a fin de incrementar la eficiencia de la operativa del sistema eléctrico.

Aunque a nivel de generación y transporte no se precisen de modificaciones significativas, la incorporación de los vehículos eléctricos sí que necesitará importantes cambios a nivel de la red de distribución, debiendo realizarse refuerzos y desarrollos de los puntos de conexión. A nivel de distribución, la implementación de las Smart Grids supone el principal reto a afrontar y que facilitará sobremanera la gestión del sistema eléctrico, al anticiparse a las necesidades de generación y consumo con mayor precisión.

A nivel personal, la realización de este estudio, me ha permitido experimentar en primera persona la evolución de una iniciativa que se extiende a nivel global, en la que hay depositadas muchas esperanzas por parte de una amplia mayoría de personas cuya ilusión es poder ponerle freno a las emisiones de gases contaminantes, principales causantes del cambio climático, electrificando el transporte por un lado y por otro facilitando la integración de las energías renovables en el mix energético.

Dado que el interés por implantar el vehículo eléctrico es relativamente reciente, durante el tiempo que me ha tomado realizar este trabajo, se han producido diversos cambios normativos, desarrollos tecnológicos y nuevas informaciones, que hacían que tuviera que actualizar la información que incluía previamente.

La búsqueda de información ha resultado más prolífica en páginas web internacionales que a nivel nacional. No obstante, la asistencia a las conferencias sobre el vehículo eléctrico llevadas a cabo en el foro Tecnoebro el 24 de marzo de 2009 así como la organizada por la Comunidad de Madrid el 29 de abril de 2009, posibilitaron que accediera a una gran cantidad de información de las empresas nacionales, así como a conocer a las personas encargadas del desarrollo de los proyectos de cada una de ellas.

El estudio me ha servido también para tomar una mayor conciencia acerca de la necesidad de involucrarse individualmente en una iniciativa, que no la única, que debe tener alcance global, contribuyendo de esa manera a poder vivir en un mundo medioambientalmente mejor.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Paul A. Hughes, *History of the electric car*. 1996.
- [2] B. David Ferrel, *From the XP-883 to the Volt: analysis and history of the electric car*, 2008.
- [3] World Automotive Achievements, www.speedace.info, 2008 Electrick publications.
- [4] California Air Resources Board, <http://www.driveclean.ca.gov>.
- [5] Frank Didik, *History and Directory of Electric Cars since 1834*. ©2001 http://www.didik.com/ev_hist.htm
- [6] www.electriccarsociety.com, ©1982.
- [7] www.greencars.org, ©ACEEE's 2007.
- [8] Chris Paine, *"Who killed the electric car?"*, Papercut films, 2006.
- [9] Training in environmental transport, <http://www.treatise.eu.com/>, ©Sitevisibility.
- [10] Comisión Europea de Transporte, *"Future of Transport: Energy consumption, CO₂ emissions and other considerations related to Battery Electric Vehicles"*, Bruselas 28 de abril de 2009.
- [11] European Association for Battery Electric Vehicles, <http://www.going-electric.org>. Última revisión 4 julio 2009.
- [12] Andrew Winder, Jean-Marc Morin, *"Road Transport"*, Transport Research Knowledge Centre, 16 de enero de 2009. European Commission DG Energy and Transport.
- [13] Jornada sobre *"Retos y Oportunidades de I+D+i en Transporte con Propulsión Eléctrica"*, Foro TecnoEbro, Auditorio Instituto Tecnológico de Aragón (ITA), Zaragoza, 24 de marzo de 2009.
- [14] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, *"Informe sobre la previsión de la evolución energética en España, periodo 2006-2016"*.
- [15] www.forococheselectricos.com
- [16] www.soloelectricos.com. ©2008
- [17] *Taller Actual, Técnica y Negocios de la Automoción*, Año 1, Número 1, Grupo Faros. Abril 2009.

- [18] *Motor* 16, Número 1.351. Semana 1, septiembre 2009. Grupo Comunicación Sexta Marcha.
- [19] *Car*, Número 29, Agosto 2009, Promotora General de Revistas, Grupo Prisa.
- [20] *En Moto*, Edición Junio-Julio 2009, Editorial Red 97.
- [21] Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, ALBA Ingenieros Consultores, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, “*Guía de la Energía en el Sector del Automóvil*”, 2007.
- [22] Serafin Olcoz (Tecnoebro), Jesús Monclús (CDTI) y María Luisa Soria (Sernauto), “*Spanish Capabilities in the Eco-electro Road Movility Sector and the FP7 Green Cars Initiative*”, ©2009
- [23] Jornada “*El vehículo Eléctrico: realidad o ficción*”, organizada por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, con la colaboración del IDAE y Enercom, Madrid 29 de abril de 2009.
- [24] Plan de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética 2008-2011, aprobado por el Consejo de Ministros el 1 de agosto de 2008, Medida nº4: *El Proyecto MOVELE*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [25] Red Eléctrica de España, “*Informe sobre el Sistema Eléctrico Nacional en el año 2008*”, Julio de 2009.
- [26] José María Marcos Fano, “*Historia y panorama actual del sistema eléctrico español*”.
- [27] www.ree.es, ©Red Eléctrica de España, última actualización 14 de octubre de 2009.
- [28] *Proyecto REVE, Redes V2G*, Regulación eólica con vehículos eléctricos, www.evwind.es.
- [29] *Electric Drive Transportation Organization*, www.electricdrive.org.
- [30] A.George Lieberman, Kathleen M. Higgins, *New Technology Batteries Guide, NIJ Guide 200-98*, National Institute of Standards and technology. U.S. Department of Justice.
- [31] Chevy Volt: The future is electrifying, www.chevrolet.com, © General Motors, 2009.

- [32] European Commission, Information Society and Media. *FP7 Green Car ICT theme*. Julio 2009.
- [33] William Tahl, *The zinc-air battery and the zinc economy: A virtuous circle*, Meridian International Research 2007.
- [34] Revolt Portable Batteries, Technology Brief. Revolt ing., 2008.
- [35] European Technology Platform for the electricity networks of the future, www.smartgrids.eu.
- [36] Edición digital de El Mundo. Fecha 19 de agosto de 2009. <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2009/08/18/empresa/1250595878.html>
- [37] Kevin Bullis, “*Las baterías de alta energía se acercan al mercado*”. http://www.technologyreview.com/es/read_article.aspx?id=837. Artículo traducido por Francisco Reyes.
- [38] Kevin Bullis, “*Ultracapacitores podrían aumentar la eficiencia de los vehículos híbridos*”, Traducción de José Russo. http://www.technologyreview.com/es/read_article.aspx?id=693
- [39] Estación de cambio de baterías de Better Place, <http://www.ison21.es/2009/05/14/estacion-de-cambio-de-baterias-de-better-place/>
- [40] www.betterplace.com, ©2009.
- [41] <http://www.mpoweruk.com>. Battery and energy technologies, ©Woodbanks Communication Ltd 2005.
- [42] Isidor Buchmann, “*Batteries in a portable world*”, Cadex Electronix. Second edition. Mayo 2001.
- [43] <http://www.batteryuniversity.com>, ©Isidor Buchmann 2003-2005.
- [44] Revolt Technologies, “*Rechargeable Zn-Air batteries for mobility*”, Zurich, 1 de marzo de 2009.
- [45] http://www.evwind.es/noticias.php?id_not=186, “*Primeros pasos de las redes inteligentes (Smartgrids) en España*”, 28 de marzo de 2009.
- [46] Alberto Ceña y José Santamarta, “*El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente*”. World Watch, número 30. Edita Gaia Proyecto 2050.

- [47] European Smartgrids Technology Platform, “*Vision and Strategy for Europe Electricity Network of the Future*”, Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems. European Commission, 2006.
- [48] F. Muñoz, “*La electricidad se vuelve inteligente*” 10 de marzo de 2009. <http://www.idg.es/computerworld/La-electricidad-se-vuelve-inteligente/seccion-electricidad/articulo-194903>.
- [49] <http://green.autoblog.com/>, © Weblogs Inc, 2003-2009.
- [50] <http://evtransportal.org/>, © EvTransportal.org 2008
- [51] Rolf Schreiber, “*Vehicle to Grid (V2G) Overview*”, 30 de septiembre de 2009. <http://rechargeit.blogspot.com/2008/09/vehicle-to-grid-v2g-overview.html>.
- [52] Kempton, Tomic, Letendre, Brooks & Lipman, “*Vehicle to grid grid power: Battery, Hybrid and Fuel Cell Vehicles as resources for Distributed Electric Power in California*”. University of Delaware UCD-ITS 2001.
- [53] <http://www.evworld.com>, Electric drive powered by plug-in conversion corporation, ©Evworld.com Inc 1998-2009.
- [54] <http://www.acpropulsion.com/products-v2g.html>, © Acpropulsion Inc, 2009.
- [55] William Tahil, “*The Trouble with Litium: Implications of Future PHEV Production for Lithium Demand*”, Meridian International Research, Enero 2007.
- [56] William Tahil, “*2007: Peak Oil – EV imperative*”, Meridian International Research 2005.
- [57] http://www.cebi.com/cebi/content/index_en.html?a=8. Página web de MES-DEA, SA, fabricante de baterías Zebra.
- [58] www.seat.es. Página web del fabricante del Seat Ibiza. Datos técnicos.
- [59] www.think.no. Página web del fabricante noruego de vehículos Think!.
- [60] www.cne.es, web de la Comisión Nacional de la Energía, 2009.
- [61] www.psi.ch, Paul Scherrer Institute. Desarrollo del proyecto Solzinc. 2009.
- [62] REVE, Regulación eólica con Vehículos Eléctricos. www.evwind.es. 2009.